

**Proyecto técnico para la homologación de la sustitución
del motor de una embarcación de recreo Starfisher 540.
Estudio y análisis de la marinización del motor a instalar.**

Trabajo Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona

Universidad Politécnica de Cataluña.

Trabajo realizado por:

David Parella Martí

Dirigido por:

Manuel Rodríguez Castillo

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, julio de 2018

Departamento de Ciencia e Ingeniería Naval.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH





AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a los tres tutores que me han ofrecido sus respectivos conocimientos durante la realización del trabajo:

A Manuel Rodríguez Castillo por su tiempo y dedicación como tutor del proyecto.

A Aitor Barambio, ingeniero mecánico, propietario de la embarcación y amigo, por su tiempo y dedicación, a quien debo el aprendizaje adquirido durante el proceso de marinización del motor.

A Jordi Bígaros, ingeniero técnico naval, por su tiempo y dedicación, a quien debo el aprendizaje adquirido durante el proceso de conformidad del proyecto.

Finalmente, a mis padres, y familia, por su apoyo incondicional, y su disposición para facilitar la realización del presente trabajo.

Mis más sinceras gracias.





RESUMEN

En el presente Trabajo de Final de Grado, se analiza y desarrolla el proceso de obra de reforma de remotorización de una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros, concretamente la Starfisher 540. Para este propósito, se sustituye el motor original por el motor terrestre Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ, con el fin de minimizar el coste económico total de la reforma, reducir el consumo de combustible y mejorar el rendimiento del equipo propulsor. Por ende, se desarrolla el procedimiento de marinización del motor, realizando el análisis teórico necesario para adaptarlo correctamente en la embarcación. Además de lo anterior, se desarrollará el procedimiento de conformidad de modificaciones de motores que exige la normativa de conformidad.

Finalmente, partiendo del estudio de la normativa vigente para proyectos de obra de reforma, se realiza la memoria técnica conforme al procedimiento de homologación de la sustitución de motores en embarcaciones de recreo, con el fin de comprobar que se cumplan los requisitos exigidos y la reforma sea avalada por el Organismo de evaluación de la conformidad.



ABSTRACT

The main aim of the former piece of research is to analyze and develop the process of reform of the engines of a recreational craft of less than 6 meters of length, specifically, the starfisher 540. Thereby, the original engine will be replaced by the Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ. The purpose of this change it is to minimize the economic cost of the improvement, reduce the fuel consumption and upgrade the performance of the propulsion. In order to adapt the car engine to the craft accurately, the engine marinization process endorsed by the theoretical analysis required will be developed. Furthermore, the procedure of consent of the necessary conditions for the engine modifications, in accordance with the current regulations, will be completed.

Lastly, acknowledging the study of the current regulations for reform projects, the technical report of the procedure of homologation of the replacement of engines in recreational crafts will be done. Hence, the purpose of the foregoing report will be to verify that the imperative requirements are met and, thereafter, approved by the Accreditation Service.



TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
TABLA DE CONTENIDOS	vii
LISTADO DE ILUSTRACIONES	xiii
LISTADO DE TABLAS	xvi
1. Presentación del proyecto.	19
1.1 . Introducción	19
1.2 . Contextualización del proyecto.....	21
1.3 . Objetivos	24
1.4 . Motivaciones	25
1.5 . Metodología del proyecto técnico.....	26
2. Memoria descriptiva.	28
2.1. Especificaciones del proyecto:	28
2.1.1 Características de la embarcación:.....	28
2.1.1.1 Datos generales:.....	28
2.1.1.2 Dimensiones principales:	29
2.1.1.3 Propulsión de serie embarcación Starfisher 540:	29
2.1.1.4 Velocidades y capacidad de tanques:	29
2.1.2 Características de los motores:	29
2.1.2.1 Características del motor a desmontar:.....	29
2.1.2.2 Características del motor a instalar:	30



2.2.	Marco normativo del proyecto.	31
2.2.1	Contexto normativo.	32
2.2.2	El marcado CE.....	33
2.2.3.	Reales Decretos.....	35
2.2.3.1	Real decreto 98/2016.....	36
2.2.3.2	Real Decreto 1435/2010	38
2.2.3.3	Real Decreto 1837/2000.	40
2.2.3.4	Real Decreto 1434/1999	41
2.3.	Procedimiento de conformidad por la reforma de cambio de motor.	43
2.3.1	Solicitud del cambio de motor intraborda.	43
2.3.2.	Requerimiento de subsanación para el proyecto de reforma.	48
3.	Descripción y análisis del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.	51
3.1.	Contextualización de la actividad de reforma.....	51
3.2.	Diferencias entre el motor terrestre y el motor marino.	53
3.3.	Especificaciones técnicas del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.....	54
3.4.	Sistemas auxiliares del motor.	57
3.4.1.	Sistema de combustible.	57
3.4.2	Sistema de admisión.	62
3.4.3	Sistema turbocompresor.....	65
3.4.4	Sistema de escape.....	68
3.4.5	Esquema del sistema de tratamiento del aire del motor: turbo compresor – admisión- escape.....	71
3.4.6	Sistema de lubricación.	72
3.4.7	Sistema de refrigeración.	74
3.4.8	Sistema eléctrico/electrónico.	81



4. Estudios previos de los equipos del proceso de marinización.....	84
4.1 Estudio previo del procedimiento de marinización del motor VW 1.9 115 TDI ATJ.	86
4.1.1 Especificaciones técnicas de la embarcación Starfisher 540:	86
4.1.2 Especificaciones técnicas del equipo propulsor de la embarcación:	88
4.1.2.1 Motor Mercruiser 3.0 L	88
4.1.2.2. Dimensiones del motor Mercruiser 3.0 L.....	89
4.1.3. Cola propulsora VOLVO PENTA SP 290:	90
5. Marinización del motor Volkswagen 115 TDI.....	93
5.1 Sistema de combustible	93
5.2 Sistema de escape.	100
5.2.1 Elección de los elementos que configuran el sistema de escape de la embarcación.	104
5.3 Sistema de refrigeración.	107
5.3.1 Modificación y disposición de los elementos del sistema de refrigeración:.....	109
5.3.1.1 Circuito cerrado del sistema de refrigeración:.....	109
5.3.1.2 Circuito abierto del sistema de refrigeración.....	112
5.3.2 Elección del equipo del circuito abierto del sistema de refrigeración.....	114
5.3.2.1 Intercambiador de calor del líquido refrigerante del motor.....	117
5.3.2.2 Intercambiador de calor del turbocompresor.	118
5.3.2.3 Bomba de agua salada	120
5.3.3 Esquema del circuito de refrigeración del sistema de refrigeración.	121
5.4 Sistema de lubricación.	123
5.5 Sistema de admisión / Sistema turbocompresor.	125
5.6 Sistema eléctrico.	128
5.6.1 Modificación del sistema eléctrico.....	129
5.6.1.1 Elección de las baterías	130



5.6.2 Sistema electrónico	132
5.6.3 Sistema de alarma del estado de cebado del agua refrigerante	137
5.6.4 Sistema de gas electrónico.....	137
5.7 Sistema de sujeción del motor a la bancada.....	138
5.7.1 Calculo del peso del motor marinizado.....	138
5.7.2 Elección de las fijaciones del motor.	139
5.8 Análisis de la instalación de la hélice.	141
5.9 Características del motor VW 1.9 TDI 115-4 ATJ marinizado.....	145
6. Presupuesto del proceso de marinización.....	146
7. Procedimiento de conformidad de la modificación del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.	148
7.1. Requisitos esenciales para las emisiones de escape de los motores de propulsión.	149
7.2 Requisitos esenciales para las emisiones sonoras	151
7.3 Elección del nombre del motor marinizado.....	152
8. Comparación del consumo de combustible de los motores sustituidos.....	153
8.1 Consumo de combustible del motor Marine Power. 2-1.9:.....	153
8.2 Consumo de combustible del Motor Mercruiser 3.0l	154
9. Memoria técnica de la obra de reforma por cambio de motores de la embarcación Starfisher 540.....	155
9.1. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor:	157
9.2. Memoria técnica de la obra de reforma por cambio de motor.	160
9.2.1. Generalidades.	161
9.2.2 Descripción de la embarcación.	161



9.2.3 Datos principales	162
9. 2.2.1 Justificación de la nueva potencia máxima.	163
9. 2.3. Justificación Escantillonado.....	167
9.2.3.1 Datos previos.....	167
9.2.3.2 Calculo del escantillonado.....	170
9.2.3.3. Escantillonado resultante.....	171
9.2.4 Peso del motor. Requerimientos del francobordo, estabilidad y flotabilidad.	174
9.2.4.1 Generalidades.	174
9.2.4.2 Características de los motores.	175
9.2.4.2.1 Peso de los motores.	175
9.2.4.2.2 Dimensiones de los motores.....	176
9.2.4.3 Justificación de la variación XG.	176
9.2.4.4 Justificación de la variación del desplazamiento en rosca.....	179
9.2.5 Definición de las instalaciones requeridas por el cambio de motor realizado.....	180
9.2.6 Estudio de la capacidad de carga máxima.....	183
10.Conclusiones.	184
Referencias Bibliográficas.....	187
Webgrafía	190
ANEXOS	191
ANEXO 1: CERTIFICACO DE NAVEGABILIDAD DE LA EMBARCACION STARFISHER 540.....	192
ANEXO.2 CATALOGOS DE LOS MOTORES	195
ANEXO.3 CATALOGO COLA PROPULSORA VOLVO SP 290.	198
ANEXO 4. NORMATIVA BOLETIN DEL ESTADO	200



ANEXO 5. RESOLUCIÓN A.749 (18). CODIGO DE ESTABILIDAD SIN AVERIA PARA TODOS LOS TIPOS DE BUQUES REGIDOS POR LOS INSTRUMENTOS DE LA OMI.....	223
ANEXO 6. LLOYD’S REGISTER. RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF YACHTS AND SMALL CRAFT.....	226
ANEXO 7. PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES	229
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL SISEMA DE COMBUSTIÓN.....	230
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN / ESCAPE / ASPIRACIÓN	232
ANEXO 8. ESQUEMA ELÉCTRICO	234



LISTADO DE ILUSTRACIONES

1. Primera embarcación egipcia	21
2. Solicitud cambio de motor intraborda. (1/2)	44
3. Solicitud cambio de motor intraborda. (2/2)	45
4. Requerimiento subsanación (Pág.1).....	49
5. Requerimiento subsanación. (Pág.2).....	50
6. Ciclo termodinámico motor Diesel.....	51
7. Curva de potencia VW 115 TDI 1.9 ATJ	55
8. Dimensiones alzado VW 1.9 115 TDI ATJ	56
9. Dimensiones perfil VW 1.9 115 TDI ATJ	56
10. Inyector-bomba electrónica	58
11. Filtro de aire y sensor MAF VW 1.9 TDI 115 ATJ	63
12. Principio funcionamiento Turbocompresor.	65
13. VTG (Turbocompresor de geometría variable)	66
14. Funcionamiento álabes VTG.....	67
15. Composición gases de escape	68
16. Clasificación gases de escape	69
17. Esquema sistema escape VW 1.9 TDI 115 ATJ	71
18. Distribución general sistema de refrigeración	75
19. Circuito del sistema de refrigeración del VW 1.9 TDI 115.....	76
20.Circuito refrigerante válvula cerrada	78
21. Circuito refrigeración válvula cerrada.	79
22. Esquema sensores sistema eléctrico VW 1.9 115 TDi ATJ	83
23. Bancada motor embarcación Starfisher 540.....	87
24. Dimensiones Mercruiser 3.0L.....	89
25. Colector escape cola-cuello de cisne.....	90
26. Cola propulsora Volvo Penta.	92
27. Tanques de combustible Starfisher 540.....	94
28. Compartimientos tanques de combustible en la embarcación Starfisher 540.....	94



29. Filtro de combustible.....	95
30. Filtro decantador	96
31. Manguera Thor CARBOPOMP/M I 5C.....	97
32. Manguera Thor CARBOPOMP / MI5T	98
33. Esquema general sistema combustible	99
34. Codo de escape.....	102
35. Codo de escape VOLVO PENTA.	102
36. Turbocompresor motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.	103
37. Cuello de cisne tipo LT90 VETUS	105
38. Tubo de goma de escape.....	105
39. Vaso de expansión motor VW 1.9 TDI 115 ATJ.	111
40. Radiador de aceite del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ	112
41. Correa de funcionamiento de la bomba de agua salada.....	115
42. Salida del agua refrigerante del motor (tubo superior) /entrada liquido refrigerante (tubo inferior), del intercooler.	116
43. Salida del intercooler del aire de admisión..	116
44. Entrada del aire comprimido del turbocompresor al intercooler.....	116
45. Intercambiador de calor liquido refrigerante.....	117
46. Intercambiador de calor turbocompresor Bowman.	118
47. Instalación intercambiador de calor turbocompresor Bowman.	119
48. Bomba de agua salada Volvo Penta	120
49. Esquema del circuito de refrigeración modificado.	121
50. Circulación agua del circuito de refrigeración modificado.....	122
51. Instalación tapón de vaciado del cárter motor.	123
52. Rejilla de extracción del aire de la bancada del motor	125
53. Rejilla del aire de aspiración del motor	125
54. Orificio de evacuación del aire de la bancada del motor	126
55. Tubo de aspiración del aire del motor.	126
56. Sistema eléctrico del motor VW 1.9 115 TDI ATJ	128
57. ECU del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ.	129
58. Compartimiento baterías. (uno a cada lado)	130



59. Batería SeaVolt de doble uso	131
60. Conexiones ECU motor VW 1.9 TDI 115 ATJ	132
61. Interface ELM 327.....	134
62. Disposición cuadro instrumentos TorquePro (1/2).....	135
63. Disposición cuadro instrumentos Torquepro (2/2).....	136
64. Comando de gas electrónico.	137
65. Fijación SOLÉ DIÉSEL Tipo E	140
66. Gráfico emisiones de escape normativa EURO	150
67. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor (1/2).	158
68. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor (2/2)	159
69. Zonas de fondo	169

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Motores Diésel Volkswagen marine.....	48
Tabla 2. Especificaciones técnicas del motor VW 115 TDI 1.9 ATJ.....	55
Tabla 3 Consumo durante el régimen de trabajo del motor.....	60
Tabla 4. Elementos del sistema refrigerante del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ	77
Tabla 5. Dimensiones principales de la embarcación Starfisher 540.....	86
Tabla 6. Capacidad tanques Starfisher 540	86
Tabla 7. Dimensiones bancadas motor	87
Tabla 8. Especificaciones técnicas motor Mercruiser 3.0L	88
Tabla 9. Características cola propulsora.....	91
Tabla 10. Características Manguera Thor CARBOPOMP/M I 5C	98
Tabla 11. Características. Manguera Thor CARBOPOMP / MI5T	98
Tabla 12. Elementos sistema combustible	99
Tabla 13. Dimensiones cuello de cisne/ silenciador LT90	105
Tabla 14. Dimensiones tubo de goma instalación sistema de escape.	106
Tabla 15. Intercambiador de calor líquido refrigerante Bowman.....	117
Tabla 16. Dimensiones intercambiador de calor líquido de refrigerante.	117
Tabla 17. Intercambiador de calor turbocompresor Bowman.....	118
Tabla 18. Dimensiones intercambiador de calor turbocompresor Bowman.....	119
Tabla 19. Elementos del sistema de refrigeración modificado.	121
Tabla 20. Características técnicas fijaciones Tipo E.....	140
Tabla 21. Especificaciones del motor MP-2.....	145
Tabla 22. Valores límite de las emisiones de escape de los motores de encendido por compresión.	149
Tabla 23. Límites de las emisiones de escape del motor VW 1.9 115 TDI ATJ.....	149
Tabla 24. Límites de emisiones sonoras.	151
Tabla 25. Desplazamiento en rosca después de la sustitución de motores	163



Tabla 26 Requisitos para la señal indicando la máxima velocidad de maniobra y la instalación del velocímetro	166
Tabla 27. Propiedades del refuerzo de fibra.	167
Tabla 28. Resultados del escantillado del fondo.....	170
Tabla 29. Resultados del escantillado de costado.	170
Tabla 30. Resultados del escantillado de la quilla.....	171
Tabla 31. Resultados del escantillado de la Embarcación Starfisher 540.....	171
Tabla 32. Relación peso/espesor según el tipo de fibra.....	171
Tabla 33. Laminado de fondo.....	172
Tabla 34. Laminado de costado.....	172
Tabla 35. Laminado de quilla.....	172
Tabla 36. Características del Motor Mercruiser 3.0l	175
Tabla 37 Características del moto Power Marine MP-2-1.9.	176
Tabla 38. Dimensiones motor Mercruiser 3.0l.....	176
Tabla 39. Dimensiones motor MP-2 1.9	176
Tabla 40. Cálculo de la variación XG.....	178
Tabla 41. Calculo de la variación del peso en rosca de la embarcación.	179
Tabla 42. Resultados de capacidad de carga máxima.	183





1. Presentación del proyecto.

1.1. Introducción

La industria naval en Cataluña y en general en España, gira alrededor de las actividades de mantenimiento, reparación y modificación de embarcaciones, ya sean para uso profesional como pesqueros, remolcadores, etc. O embarcaciones de recreo, de grandes y pequeñas esloras. El conjunto de este tipo de trabajos lleva el nombre de, *repair&refit*. En el siguiente trabajo de fin de grado se persigue la idea de realizar una actividad relacionada con este sector y aplicar los conocimientos adquiridos durante el grado de ingeniería en sistemas y tecnología naval, en desarrollar el procedimiento de reforma de una embarcación de recreo.

La perspectiva que se persigue a lo largo de su contenido, es realizar una actividad en la que un astillero, que se dedique al *repair&refit* de embarcaciones de recreo, se pueda encontrar al recibir un cliente que su intención sea remotorizar su embarcación y con el mínimo coste económico posible. Partiendo de esta idea, el camino más fácil y rápido, es la adquisición de un motor marino nuevo que se adapte a las características de la embarcación, proceder con su instalación y elaborar el proyecto de obra de reforma de sustitución de motores para formalizar el cambio realizado desde Capitanía Mercante.

No obstante, hay otra opción más económica y relativamente sencilla de realizar desde el punto de vista de un taller náutico, que es la marinización de motores terrestres.

Por lo tanto, el trabajo a realizar, consiste en sustituir el motor intraborda de una embarcación de recreo, por un motor terrestre, realizando su previa marinización, con el fin de mejorar las prestaciones del equipo propulsor con un coste económico relativamente bajo.

Los elementos objeto de estudio en que se basa el presente proyecto son los siguientes:



- Embarcación: Starfisher 540, fabricada en 1990 por los astilleros Fibercraft (actualmente retirados)
- Motor a desmontar: Mercruiser 3.0 L
- Motor a montar: Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.

La realización de este tipo de proyectos de reforma, requiere el conocimiento de la normativa que establece los requerimientos que debe seguir el procedimiento de cambio de motores en una embarcación de recreo, lo que conlleva a realizar un estudio previo de la normativa basada en los reales decretos administrados por el ministerio de fomento y Capitanía Mercante, con el fin de describir el procedimiento a seguir para la conformidad de la obra de reforma realizada en la embarcación.

Por lo que hace a la instalación del motor terrestre, se desarrolla el análisis teórico del procedimiento de marinización para adaptar correctamente el propulsor en el nuevo medio de trabajo. Por consiguiente, se debe realizar conforme a las características técnicas que presenta la embarcación, es decir, respetar la potencia máxima que se puede instalar y las limitaciones de las medidas de la bancada, entre otras consideraciones. Por lo tanto, será necesario el previo análisis de los elementos que influyen en el proceso de adaptación del motor terrestre en la embarcación. Como punto final de esta parte del trabajo se realiza el procedimiento de conformidad del producto, comprobando el cumplimiento de la normativa establecida para este tipo de modificaciones.

1.2. Contextualización del proyecto.

Las embarcaciones han formado parte de la historia de la humanidad durante miles de años, siendo de vital importancia para el funcionamiento de nuestra sociedad, así como la industria que las rodea. Los primeros constructores de embarcaciones de los que se tiene noticia, se encuentran en la civilización egipcia, así nos lo indica la primera fuente gráfica encontrada en los jeroglíficos, donde aparecen, alrededor del siglo XXX a.d C, las primeras ilustraciones gráficas de balsas propulsadas a remo y a vela. No obstante, lo más probable es que el ser humano navegase sobre el agua desde mucho tiempo atrás, pero la tarea de poner fecha al primer constructor de embarcaciones es muy difícil, así que, según las pruebas encontradas, se puede datar con certeza que los egipcios fueron los “primeros” en construir embarcaciones.



*1. Primera embarcación egipcia
Fuente: Artículo historia navegación. (en línea)*

La idea de la navegación, empieza con la observación de la sustentación de un cuerpo sobre un tronco u otro objeto flotante, en el agua. Partiendo de este principio, se procede a unir dos o más troncos para formar una pequeña balsa. La evolución de las embarcaciones no tardaba en llegar, y en poco tiempo se añaden accesorios como la implantación de la vela como propulsor. Hasta el siglo XVIII, con la innovación que significó una revolución en el diseño de embarcaciones, como es la llegada de la propulsión por vapor y la construcción del casco de hierro. Mas tarde, en las décadas del



1870 i 1880, empieza a utilizarse el acero (más fuerte, resistente y elástico que el hierro) abriendo paso a la implementación de las turbinas. Con el descubrimiento del motor de combustión Diesel, en 1897, supondría el principio del fin de los vapores del mismo modo que el motor de vapor supuso el de la vela.

El 75% de la superficie terrestre está cubierta por agua, no resulta sorprendente que exista una gran industria en el sector de la náutica, solo hace falta observar que las embarcaciones han servido al hombre de instrumento para poder desplazarse por ríos, mares y océanos, asegurar su alimentación diaria, transportar mercancías por todo el planeta y su uso con fines de ocio o deporte, de lo cual surge una idea relativamente nueva, el concepto de la náutica de recreo.

Esta registrado que en el siglo XVII D.C, en los Países Bajos, los veleros de pesca se empezaron a utilizar por uso propio para satisfacer el placer de navegar. De allí nace la palabra yate, “yacht”, proveniente del holandés, que significa “caza” o “búsqueda”. No obstante, se data el inicio de la náutica recreativa, la realización de la primera Copa América, la competición más antigua del mundo, nacida en 1851. Los yates privados a motor, aparecieron después del 1872, así es como la actividad tradicional de los Países Bajos, Inglaterra u otros países de Europa se expandió a lo largo del siglo XX en una industria internacional.

Gracias a las condiciones en España y Cataluña, la costa, el clima, los precios y una política de inversiones inmobiliarias, han conseguido que la actividad turística se haya convertido en uno de los pilares de la industria. El 83% de las importaciones y el 55% de las exportaciones entran o salen a través de los puertos. Concretamente en Catalunya, a causa de su privilegiada condición climática y gran variedad geográfica y de actividades que presenta, es una gran comunidad receptora de turismo. Cuenta con más de 580 Km de litoral y tiene unas condiciones naturales que ofrecen oportunidades únicas en la práctica de cualquier tipo de actividad relacionada con el sector marítimo como son: los deportes náuticos, pesca, acuicultura, náutica de recreo, transporte marítimo, etc.

El sector de la náutica de recreo presenta dos negocios en el sector industrial: la construcción de embarcaciones y el “repair & refit” (reparación, mantenimiento y



transformación.) Dentro de los ejercicios que se desarrollan y conforman la industria naval, la realización de proyectos técnicos como reformas estructurales, cambios de motor, reparaciones o adaptaciones en embarcaciones de segunda mano, tienen una gran importancia dentro del sector del diseño y construcción de embarcaciones en los astilleros, ya que es uno de los ámbitos de aplicación con más ejercicio.

Actualmente, el negocio de la construcción naval se encuentra estancado en Cataluña y generalmente en España. Una de cada 4 embarcaciones es de fabricación local a nivel estatal y la rentabilidad en la construcción ha ido disminuyendo ligeramente a causa de haber una menor competitividad del conjunto de empresas respecto a los grandes competidores, debido a un bajo nivel de automatización que conlleva a un elevado coste de mano de obra, poca capacidad productiva y una pequeña dimensión de producción.

Las actividades de repair&refit incluyen entre otras, todo lo que rodea el mantenimiento de la mecánica del motor, electricidad, limpieza, pintura, proyectos de modificaciones en el buque, reparaciones o transformaciones, etc. También están involucradas subcontrataciones y las actividades se llevan a cabo en los astilleros de constructores de buques, de los cuales se dedicaban a la construcción de grandes esloras y se han diversificado hacia el repair&refit, donde en algunos casos se generan compensaciones en las dificultades financieras que supone la construcción de grandes embarcaciones.



1.3. Objetivos

El principal objetivo del presente proyecto es realizar el estudio y análisis de la marinización de un motor de automóvil, proceder con su sustitución del motor original de la embarcación StarFisher 540 y adecuarse a la normativa para su posterior homologación del cambio realizado.

Con la instalación del motor terrestre se pretende reducir el consumo de combustible, mejorar en las prestaciones del equipo propulsor de la embarcación y ofrecer al consumidor una alternativa a la compra de un motor marino nuevo que puede resultar de un coste económico muy elevado comparado con realizar la marinización de un motor terrestre de segunda mano.

Otro de los objetivos, es realizar un trabajo relacionado con las posibles salidas profesionales del Grado de sistemas y tecnología naval, con el fin de aplicar y evaluar todos los conocimientos aprendidos durante el grado. Esto conlleva que el proyecto deba estar certificado y respaldado por la normativa vigente, por lo tanto, debe tener toda la documentación técnica necesaria para que sea evaluado por un Organismo Notificado para su posterior homologación. Al considerarse un trabajo de carácter académico, no se formalizará en la presentación de esta documentación, pero si se realizará su análisis. Este proceso requiere un previo conocimiento de la normativa con el fin de realizar adecuadamente el proceso de homologación del cambio de motor, por lo tanto, otro de los objetivos del proyecto es estudiar y asimilar el marco normativo que encuadra esta parte.

También se persigue desarrollar el análisis y comprender el proceso de marinización de un motor de automóvil para poder desarrollarlo de tal manera que sea de fácil entendimiento para quien tenga interés de realizarlo por él mismo. La idea es desarrollar un tipo de manual donde se expresen los puntos más importantes a tener en cuenta de este proceso y como desarrollarlos.



1.4. Motivaciones

La sustitución de motores de una embarcación, supone desarrollar un proyecto técnico de obra de reforma realizado y verificado por un Ingeniero Técnico Naval. La principal motivación de llevar a cabo este trabajo de fin de grado, es que no solo tenga fines académicos, si no que se pueda aplicar en un caso real, y así en un futuro, presentar formalmente la solicitud de cambio de motores de la embarcación.

Otra de las motivaciones, es el ámbito que abarca el tema de desarrollo dentro de la industria naval, el repair&refit, ya que, a nivel laboral, es de los sectores que se ofrece más trabajo en Cataluña, al resto de España, y también a nivel europeo.

La marinización de un motor es una actividad muy frecuente en la producción de motores marinos para embarcaciones de pequeñas esloras. Muchos fabricantes realizan este proceso para adaptar los motores terrestres de vehículos para su uso en embarcaciones de recreo. La idea de realizar el análisis de este proceso y desarrollarlo analíticamente es otra de las motivaciones que me han llevado a escoger esta actividad.



1.5. Metodología del proyecto técnico.

El siguiente trabajo de fin de grado dispone básicamente de tres partes. La primera parte del trabajo, consiste en la recopilación de la información necesaria para desarrollar la actividad de reforma, como son: los datos de los motores que se van a sustituir; el original, el Mercruiser 3.0lx 4 cilindros de 120 CV y el motor a marinizar, el Volkswagen 1.9 TDI de 115 CV. También se presentan los principales datos de la embarcación, como la ficha técnica o el certificado de navegabilidad. Como punto final de esta parte, se realiza el estudio y análisis del marco normativo que envuelve el proyecto. Esta parte conforma el capítulo de “Memoria descriptiva”.

En la segunda parte se desarrolla el estudio del proceso de marinización de un motor terrestre, donde se analizan las modificaciones de los sistemas auxiliares instalados en el motor Volkswagen TDI de 115 CV, con el fin de adaptarlos correctamente para su uso en el medio marino. No obstante, antes se debe realizar un estudio previo de las características que presenta la embarcación y el compartimento donde se instala el motor, ya que influyen directamente en este proceso. El procedimiento consiste en:

- Establecer los equipos instalados en la embarcación como: tanques de combustible, equipo propulsor (cola propulsora o eje de giro transversal), etc.
- Dimensiones de la bancada donde se instala el motor y sus sistemas auxiliares.
- Descripción de los motores a sustituir

Los sistemas auxiliares a analizar y a realizar los cambios necesarios para adaptar el motor a la marinización son los siguientes:

- Sistema de combustible.
- Sistema de lubricación.
- Sistema eléctrico.
- Sistema de escape.
- Sistema de admisión
- Sistema de refrigeración



Una vez realizada la marinización del motor, se deberá desarrollar el procedimiento de conformidad para la homologación.

Como parte final del trabajo, y una vez realizado el procedimiento de conformidad de la modificación del motor, se procede a desarrollar la memoria técnica de obra de reforma por cambio de motor en la embarcación Starfisher 540. Se recoge la documentación técnica que la Autoridad notificadora evaluará para la posterior homologación, (aunque no se llegue a presentar ya que el proyecto es de fines académicos) llevando a cabo la demostración del cumplimiento de la normativa descrita en la primera parte del proyecto. Por lo tanto, esta parte depende directamente de la evaluación de la memoria descriptiva.



2. Memoria descriptiva.

2.1. Especificaciones del proyecto:

En el siguiente apartado se presentan los datos principales de la embarcación, la StarFisher 540, y de los motores que intervienen en el proceso de obra de reforma, el Volkswagen TDI de 115 CV que sustituye el motor de serie Mercruiser 3.0lx 4 cilindros de 120 CV.

Los datos se han obtenido de los catálogos oficiales de los motores, adjuntos en los anexos del proyecto. Las especificaciones técnicas de la embarcación han sido facilitadas por el astillero NautiSevilla que se dedicó a la venta de estas embarcaciones.

2.1.1 Características de la embarcación:

La StarFisher 540 es una embarcación de fibra de vidrio dedicada al recreo, de 5,35 m de eslora diseñada y construida por el astillero Fibercraft. Astillero familiar que inició su actividad durante los años 80, que llevo al mercado la fabricación por moldes del Hobby 4, cuya embarcación resulto muy popular durante la época. Actualmente este astillero lleva 15 años cerrado, hecho que ha dificultado la recopilación de información de la embarcación.

2.1.1.1 Datos generales:

- Tipo: Embarcación de recreo de eslora inferior a seis metros.
- Zona de navegación: Zona 4, lista 7ª.
- Año de construcción: 1990
- Material del casco: Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
- Constructor: FIBER CRAFT
- Modelo: STAR FISHER 540
- Núm. de serie: 10



2.1.1.2 Dimensiones principales:

- Eslora: 5,35 m
- Eslora flotación: 5,00 m
- Manga: 2,08 m
- Puntal: 1,16 m
- Calado mín.: 0,4 m
- Calado máx.: 0,7 m
- Arqueo: 2,65 T
- Desplazamiento neto: 1,1 Tm

2.1.1.3 Propulsión de serie embarcación Starfisher 540:

- Tipo: dentro fueraborda; motor intraborda con transmisión por cola Z.
- Motor: Intraborda MERCUISER 3.OL.

2.1.1.4 Velocidades y capacidad de tanques:

- Velocidad Máxima: 22 kn
- Velocidad de crucero: 15 kn
- Capacidad de combustible: 100 l
- Capacidad de aguas dulces: 30 l

2.1.2 Características de los motores:

En el siguiente apartado se describen las características técnicas de los motores objeto de estudio del presente proyecto.

2.1.2.1 Características del motor a desmontar:

- Modelo: Mercruiser 3.0 L
- Peso motor*: 165 Kg
- Peso equipo motor (motor + cola + eje de transmisión): 209 Kg



- Potencia: 125 CV

* Peso neto del motor sin sistemas auxiliares incluidos. No incluye elementos periféricos en el bloque motor.

2.1.2.2 Características del motor a instalar:

- Modelo: VW 1.9 TDI 115 ATJ
- Peso motor sin periféricos*: 126 Kg
- Peso motor en seco**: 136 Kg
- Peso motor marinizado***: 195 Kg
- Peso equipo motor (motor + cola + eje de transmisión): 249 Kg
- Potencia: 115 CV

* Peso neto del bloque motor.

**Peso neto del motor más los elementos integrados al bloque motor, como son, el vaso de expansión, sistema eléctrico, radiador de aceite, conductos del líquido refrigerante, etc. Es el peso en seco.

***Es el peso del motor VW 4-115, es el mismo motor, pero ya marinizado por el fabricante. Se puede encontrar el catálogo en los anexos del proyecto.



2.2. Marco normativo del proyecto.

En el siguiente apartado se analiza el marco normativo existente para la realización de un proyecto de obra de reforma por cambio de motor en una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros. También se analiza la normativa que debe cumplir la realización de marinizar un motor terrestre para su uso en una embarcación.

Por lo tanto, en este apartado se diferencian dos tipos de marcos normativos, por un lado, el que afecta el proceso de cambio de motor de la embarcación y por otro lado la normativa que rige el proceso de conformidad de modificaciones en motores, en este caso la marinización del motor Volkswagen 1.9 TDI 115Atj.

Principalmente se debe tener en cuenta si la embarcación posee de marcado CE. Este certificado establece el cumplimiento de los requisitos establecidos por los Reales Decretos expuestos en el BOE por el Ministerio de Fomento y de la Dirección General de la Marina Mercante.

No obstante, en los reales decretos consultados, se describe de forma general como resolver y que procedimientos debe seguir la actividad de sustitución de motores en una embarcación, puesto que no existe una normativa específica. El proceso consiste en presentar a la Autoridad notificadora la documentación requerida para realizar la solicitud del proyecto técnico de reforma por cambio de motores de la embarcación, la cual analiza las características que presenta, y establece los requisitos que se deben cumplir, este documento se llama requerimiento de subsanación. Una vez presentada la memoria técnica, el Organismo de evaluación de la conformidad declara si el tramite solicitado cumple con los requisitos establecidos por la Autoridad notificadora y establece si es conforme o no conforme.

El marco normativo que afecta el proceso de marinización del motor se ha consultado directamente a través de la empresa Solé Diesel, la cual se dedica específicamente a la marinización de motores.

Por lo que trata el marco normativo del proceso de sustitución de motores de la embarcación, para obtener el requerimiento de subsanación, se ha consultado en la



dirección de Capitanía Mercante de Palamós, cual es el proceso que se debe seguir para poder solicitar el cambio de motor de la Starfisher 540. Al no disponer de horas de consulta para poder estudiar concretamente el caso de este proyecto, se otorgó un requerimiento de subsanación de otra embarcación, con los requisitos mínimos que debe cumplir un cambio de motor en una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros.

2.2.1 Contexto normativo.

A continuación, se realiza la contextualización del marco normativo al cual está sujeto una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros, construida el año 1990 y de lista séptima, al realizar modificaciones o sustituciones de los equipos instalados.

Cuando se realiza una de reforma de cambio de motores en una embarcación, el tipo de proyecto que se debe realizar depende básicamente de si la embarcación está acreditada o no con el marcado CE.

A continuación, se presentan las diferencias de los dos casos:

- Proyecto de reforma de cambio de motores en una embarcación CE:

Si después de la sustitución del motor, la potencia instalada de serie es igual o inferior que la potencia máxima establecida en la declaración de conformidad, no se debe realizar ninguna homologación post cambio, solo se debe cumplir con los requisitos establecidos por la dirección de la Capitanía Mercante. No obstante, si la nueva potencia es considerablemente superior a la instalada, se tiene que presentar un proyecto de reforma que justifique que la embarcación cumple con los requisitos de seguridad, técnicos y de comercialización de las embarcaciones deportivas y sus componentes. Si no se cumplieran los requisitos, se procedería a realizar una reforma estructural a la embarcación. Este proyecto se llama: Homologación post construcción.



- Proyecto de reforma de cambio de motores en una embarcación sin marcado CE:

Si la potencia a instalar es igual o inferior a la potencia instalada en la embarcación, no sería necesario realizar ningún proyecto para certificar el cambio, solo sería necesario cumplir con los requisitos establecidos por la Autoridad notificadora. Si la nueva potencia es considerablemente superior a la instalada, se debe presentar un proyecto técnico que demuestre que la embarcación cumple con los requisitos de seguridad, técnicos y de comercialización establecidos para las motos náuticas, embarcaciones deportivas y sus componentes. Este proyecto se llama: Proyecto Técnico de reforma.

La embarcación objeto de estudio, la StarFisher 540, al ser construida el año 1990, carece de marcado CE, y se procede a la realización de un Proyecto Técnico de reforma.

2.2.2 El marcado CE.

El marcado CE (*Conformité Européenne*) es el proceso por el cual el fabricante o importador de un producto, verifica a las autoridades competentes que el equipo comercializado satisface los requisitos esenciales establecidos por las Directivas de aplicación europeas. Este certificado tiene la finalidad de eliminar los obstáculos al comercio y las condiciones de competencia desiguales en el mercado interior de la Unión Europea.

La primera Directiva que involucra la construcción naval en Europa, fue la Directiva 94/25/CE, que se estableció en el ordenamiento jurídico del Real Decreto 297/1998. Posteriormente, en España, se expuso en un texto consolidado mediante el Real Decreto 21270/2004 por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo de entre 2,5m y 24m de eslora, las motos náuticas, los motores de propulsión instalados, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras. La norma actualmente en vigor es el Real Decreto 98/2016.

El Real Decreto de 98/2016 tiene el objetivo de garantizar una utilización segura de las embarcaciones de recreo, se establece una normativa para llevar a cabo una clasificación de numerosas cuestiones técnicas relativas a los requisitos básicos para la construcción de embarcaciones en los aspectos de categorías de diseño, carga máxima



recomendada, identificación, depósitos de combustible, equipos contra incendios y prevención de vertidos.

Según el Real Decreto 1435/2010 de 5 de noviembre, por el que se regula el abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima, están obligadas a contener el marcado CE, todas las embarcaciones construidas en la Comunidad Europea, embarcaciones nuevas o de 2ª mano provenientes de países terceros, deberán llevar el marcado CE desde el 16 de junio de 1998. No obstante, las embarcaciones que no lo tengan pero que acrediten haber sido comercializadas en la Unión Europea antes del 16 de Junio de 1998, deberán presentar un proyecto elaborado y firmado por un técnico competente que con la valoración de la Administración marítima se demuestre que la embarcación cumple con lo establecido en la Orden FOM/1144/2003, de 28 de abril, por la que se regulan los equipos de seguridad, de salvamento, de contra incendios, de navegación y de prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo las embarcaciones de recreo.

La embarcación Starfisher 540, al ser previamente construida a la fecha de la aplicación del real decreto y comercializada en la Unión Europea antes del 16 de junio de 1998, debe presentar un proyecto de obra de reforma por cambio de motores elaborado y firmado por un técnico competente, que, con la valoración de la Administración marítima, se certifique que la embarcación cumple, en la medida de lo posible, con los requisitos establecidos en el anexo VIII de la Orden FOM/1144/2003. Estos requisitos se establecerán según las características de la embarcación y los motores a instalar.

La ordenación del cumplimiento de la normativa lo establece cualquier Autoridad notificante de la capitanía mercante, en este caso por cercanía, se ha elegido Capitanía de Palamós, que establecerá que normas se deben cumplir para homologar el cambio de motor en la embarcación. Al ser un proyecto académico, la firma por un técnico y la valoración realizada por la Autoridad notificante son de objeto de estudio y no se formalizará su presentación oficial.



2.2.3. Reales Decretos.

En el siguiente apartado se analizan los puntos más importantes del contenido de los Reales Decretos que directamente influyen en la normativa vigente para la conformidad de proyectos de obra de reforma en embarcaciones de recreo. Su contenido se expone en el BOE través del Ministerio de Fomento y la Dirección General de la Marina Mercante.

Es importante realizar el siguiente análisis ya que se determinará la normativa que debe seguir el proyecto y que procedimiento se debe seguir para su conformidad, tanto la parte de la marinización del motor como la reforma de sustitución de motores de la embarcación. También se establecerá la estructura en que se deben presentar los datos y resultados, y que procedimiento seguir en los diferentes apartados del proyecto.

Los Reales Decretos consultados son los que se presentan a continuación:

- Real Decreto 98/2016, de 11 de marzo, por el que se regulan los requisitos de seguridad, técnicos y de comercialización de las motos náuticas, embarcaciones deportivas y sus componentes.
- Real Decreto 1435/2010, de 5 de noviembre, por el que se regula el abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima del registro de matrícula de buques.
- Real decreto 1837/2000, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de inspección y certificación de buques civiles.
- Real Decreto 1434/1999, de 10 de septiembre, por el que se establecen los reconocimientos e inspecciones de las embarcaciones de recreo para garantizar la seguridad de la vida humana en el mar y se determinan las condiciones que deben reunir las entidades colaboradoras de inspección.



2.2.3.1 Real decreto 98/2016.

Este real decreto establece los requisitos esenciales de diseño, fabricación y construcción de las embarcaciones de recreo y sus componentes. Indica entre que parámetros deben resultar las emisiones del motor que se va a modificar y por ende de la embarcación, así como la regulación de las emisiones de escape y de las emisiones sonoras emitidas.

El Real decreto 98/2016, por lo que afecta en el presente proyecto, recoge las disposiciones generales como también las definiciones de distintos conceptos, como eslora, embarcación, norma armonizada, autoridad notificante, etc. Las cuales no se comentarán, no obstante, se pueden encontrar en el *Artículo 4* del mismo Real Decreto.

Se define una modificación importante del motor, toda modificación que pueda dar lugar que se superen los valores límites de emisiones de escape y sonoras que figuran en el anexo II parte B, o aumente la potencia nominal del motor en más de un 15%. Al realizarse la marinización de un motor, se considera modificación importante. Todas estas comprobaciones se realizan en el apartado 7. *Procedimiento de conformidad de la marinización del motor Volkswagen 115 TDI*.

El *Artículo 3, punto 2, apartado c) y punto 3, apartado b)*, del capítulo 1 de este real decreto, indica que se puede utilizar la embarcación para uso propio teniendo 5 años de margen para poder ajustar los requisitos de emisiones de escape y sonoras. Al ser el presente proyecto técnico por uso lucrativo, estaría cubierto por un periodo de 5 años si no se cumplieran los requisitos de emisiones de escape y sonoras.

El *Capítulo 10, Artículo 33, punto 3*, hace referencia a la modificación o conversión importante de los motores de la embarcación. Este indica que, para una actividad de modificación importante del motor, se aplica el procedimiento mencionado en el artículo 39, para que se permitiera introducir el producto en el mercado o ponerlo en servicio. Este artículo hace referencia al procedimiento de conformidad posterior a la fabricación, la cual se efectuará tal como se establece en el anexo V del mismo real decreto.



El procedimiento de conformidad a seguir antes de poner en servicio el motor, establece que la persona que introduzca el producto debe presentar ante un organismo notificado, una solicitud de informe posterior a la fabricación del producto y deberá facilitar los documentos y la información técnica que le permitan evaluar la conformidad del producto con los requisitos exigidos por este real decreto. A partir de aquí, la Administración marítima analizará el producto de manera individual y comprobará los cálculos, ensayos y demás evaluaciones que se necesiten para garantizar la conformidad del producto.

El punto más importante que expresa este Real Decreto son los requisitos esenciales para las emisiones de escape y sonoras de los motores de propulsión, lo cual afectarán directamente en el procedimiento de conformidad para avalar la modificación del motor Volkswagen 115 TDI. En el *artículo 37 y artículo 38 del capítulo 10* de este real decreto, se hace referencia a los requisitos de emisiones de escape y emisiones sonoras.

Por lo que respecta a las emisiones de escape en embarcaciones de recreo con motor de propulsión instalado a bordo, al que se realice una modificación importante y posteriormente se introduzca en el mercado después de un periodo de cinco años a partir de la conversión, se aplicaran los procedimientos establecidos en el anexo II de la decisión N.º 768/2008/CE, la cual expresa el mismo procedimiento que el anexo I parte B) de este real decreto.

En lo que concierne a las emisiones sonoras en embarcaciones de recreo con motor de propulsión instalado a bordo, el fabricante debe aplicar los procedimientos establecidos en el anexo II de la Decisión nº768/2008/CE, la cual expresa exactamente el mismo procedimiento que el anexo I parte C) de este real decreto.

Los anexos I, V y VI del real decreto 98/2016 se puede encontrar los anexos del presente proyecto.



2.2.3.2 Real Decreto 1435/2010.

El siguiente real decreto tiene por objeto establecer el procedimiento de abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima, en este sentido, diferencia las embarcaciones con marcado CE de las que no lo poseen. La embarcación esta abanderada y matriculada, no obstante, carece del certificado europeo, por lo tanto, se debe analizar que procedimiento y que normativa debe cumplir el proyecto de obra de reforma que se le aplica.

El ámbito de aplicación de este real decreto, expresado en el *artículo 3*, indica que será de aplicación a las embarcaciones ya abanderadas y registradas en las listas sexta y séptima. Las embarcaciones de recreo de eslora igual o inferior a 12 metros, estarán sujetas al procedimiento previsto en el *artículo 8*, cuando la propia embarcación y su equipo propulsor tengan el marcado CE, al ser ausente este marcado, se procederá al *artículo 10* donde se indica la documentación requerida para el abanderamiento de las embarcaciones sin marcado CE.

El *artículo 10* hace referencia que, las embarcaciones existentes procedentes de la Unión Europea que carezcan del mercado CE, podrán registrarse siempre que se cumpla una de las condiciones siguientes:

- a) La embarcación debe disponer de un certificado de inspección de buques anterior al 2 de junio de 1992, expedido por la Dirección General de la Marina Mercante.
- b) La embarcación debe disponer del certificado de homologación expedido por la Dirección General de la Marina Mercante.
- c) La embarcación debe disponer del certificado de construcción por unidades expedido por la Dirección General de la Marina Mercante.
- d) Respecto de las embarcaciones que acrediten haber sido comercializadas en la Unión Europea antes del 16 de junio de 1998, deberán presentar un proyecto elaborado y firmado por un técnico titulado competente, en el que a juicio de la Administración marítima se demuestre que la embarcación cumple con lo establecido en la Orden FOM/1144/2003, de 28 de abril, por lo que se regulan



los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo las embarcaciones de recreo, y, en la medida de lo posible, con las normas UNE armonizadas que se incluyen en el listado del anexo VIII.

Asimismo, deberán superar con resultado favorable el reconocimiento inicial realizado por la Administración marítima de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.A del Real Decreto 1434/1999.

El punto que hace referencia el contenido del presente proyecto es el d), por lo tanto, para la homologación del cambio de motor realizado en la embarcación se debe acudir a la Administración marítima, en este caso a Capitanía de Palamós, para que a su juicio realicen el requerimiento de subsanación del proyecto. En el *Apartado 2.3* del presente trabajo, se expone el requerimiento de subsanación elaborado por la Autoridad notificadora Capitanía de Palamós.

El *artículo 19*, en el apartado de *Disposición transitoria única. Embarcaciones ya abanderadas*, punto 2, indica que, en las embarcaciones ya abanderadas y matriculadas, se seguirán usando las Licencias de Navegación de que van provistas, hasta que realicen alguna de las operaciones o actos que motivan algún tipo de inscripción registral, en cuyo momento se sustituirán por el permiso de navegación.

En el punto 3 de este mismo apartado, expresa que el certificado de navegabilidad vigente se canjeará por otro nuevo únicamente en los siguientes casos:

- a) Cuando sea imposible su uso por manifiesto de deterioro.
- b) Cuando el documento sea ilegible.
- c) Cuando la embarcación sufra obras de reformas que la modifique de forma sustancial.
- d) Por extravió, hurto o pérdida debidamente acreditada.

Este proyecto es de finalidad académica y por lo tanto la realización de un certificado de navegabilidad no se realizará, pero si proyecto fuera presentado en la Administración Marítima, se elaboraría uno nuevo.



2.2.3.3 Real Decreto 1837/2000.

El Real decreto 1837/2000, por el que se aprueba el Reglamento de inspección y certificación de buques civiles, tiene por objetivo establecer un marco normativo específico que regule las condiciones generales y el procedimiento para la realización de las inspecciones y controles de los buques.

Por actividades inspectoras se entenderá todas las inspecciones y controles, así como reconocimientos, aprobaciones, homologaciones y certificaciones y demás actividades que se realicen en cumplimiento de lo dispuesto en el reglamento de inspección y certificación de buques.

Se entenderá por transformación, reforma o gran reparación, cualquier modificación realizada en un buque que tenga o pueda tener influencia significativa sobre cualquier aspecto de la seguridad marítima o de la prevención de la contaminación del medio ambiente marino. La redacción y firma de proyectos competentes, así como de transformación, reforma o grandes reparaciones de buques, será a cargo de los ingenieros navales y a los ingenieros técnicos navales, estos últimos en el ámbito de su especialidad.

El proyecto y la posterior ejecución de las transformaciones, reformas o grandes reparaciones que se hagan al buque durante su etapa en servicio, se realizarán conforme al *capítulo VI del Título II* de este real decreto, el cual especifica las actividades de inspección y control de los buques de pabellón español en servicio.

En el *artículo 38, punto 10*, señala que las transformaciones, reformas o reparaciones realizadas en buques o embarcaciones menores de 24 metros de eslora (L), podrán ser excluidas del procedimiento general de autorización regulado de este artículo, siempre que el Área de Inspección Marítima verifique que los cambios previstos en el buque o en la embarcación no incidan significativamente sobre la seguridad marítima ni sobre la integridad del medio ambiente marino.

La solicitud de exclusión, junto con la documentación técnica que defina y determine las exigencias técnicas de la obra, será dirigida al Capitán Marítimo de la Capitanía de



Primera donde se encuentre el ámbito geográfico al cual se vaya a realizar el proyecto, en este caso Capitanía de Palamós.

El área de inspección Marítima evaluará la documentación técnica aportada y tras evaluar la influencia de los cambios previstos, informará al Capitán Marítimo para que proceda a resolver la solicitud presentada. Una vez reconocida la exclusión, el Área de Inspección Marítima verificará que las obras se realizan de acuerdo con la normativa vigente y con la documentación técnica presentada.

[2.2.3.4 Real Decreto 1434/1999](#)

El siguiente Real Decreto establece los reconocimientos e inspecciones de las embarcaciones de recreo y sus componentes, y las condiciones que deben reunir las entidades colaboradoras de inspección para ser autorizadas a realizar dichos reconocimientos e inspecciones. Este Real Decreto se aplicará a las embarcaciones de recreo matriculadas en España, considerándose como tales aquellas de todo tipo, con independencia de su medio de propulsión, que tengan una eslora de casco comprendida entre 2,5 y 24 metros, proyectadas y destinadas para fines recreativos y deportivos, y que no transporten más de 12 pasajeros.

El artículo 3, punto A, indica que las embarcaciones de recreo de ámbito de aplicación de este real decreto, estarán sometidas a las actividades de reconocimiento y mantenimiento de las diferentes partes de la embarcación, como sus equipos y componentes para asegurar el funcionamiento de estos y la seguridad marítima. Estas disposiciones se pueden consultar en los anexos del presente proyecto académico, las cuales servirán de consulta a lo largo de los siguientes apartados.

También es de importancia mencionar el punto D) de este artículo ya que añade que será obligatoria la realización de reconocimientos adicionales, en los supuestos siguientes:

- A. Cuando una embarcación de recreo efectúe reparaciones en su casco, maquinaria y equipo, o sufra modificaciones o alteraciones en los mismos.



- B. Después de haber sufrido varada, abordaje, serias averías por temporal u otro motivo, o averías en su maquinaria y demás elementos y componentes de la embarcación, que pueda afectar las condiciones de seguridad de navegación de la embarcación.

Por lo que expresa el punto A, al realizar una modificación al motor de la embarcación, se deben realizar reconocimientos adicionales para su procedimiento de conformidad aun que el cambio de motor realizado no supere el 15% de la potencia instalada, lo cual reafirma lo expuesto en el anterior Real Decreto.



2.3. Procedimiento de conformidad por la reforma de cambio de motor.

En el siguiente apartado se realiza la descripción del procedimiento de conformidad de la reforma por cambio de motor que se lleva a cabo en este proyecto. Según los Reales Decretos presentados en el apartado anterior, sustituir el motor de una embarcación por un motor marinizado, al considerarse una modificación importante en la embarcación, se deberá realizar una solicitud de cambio de motor a una Autoridad notificadora, la cual especificará los requisitos que darán lugar a la elaboración de un proyecto técnico realizado y firmado por un ingeniero naval técnico competente. La Administración marítima de ámbito geográfico más cercano es en este caso Capitanía de Palamós.

Presentando toda la documentación técnica necesaria, evaluará y determinará según las características de la embarcación y los motores a substituir, que normativa debe aplicarse con lo establecido en la Orden FOM/1144/2003, de 28 de abril, y, en la medida de lo posible, con las normas UNE armonizadas que se incluyen en el listado del anexo VIII del real decreto 1435/2010.

2.3.1 Solicitud del cambio de motor intraborda.

En primer lugar, se debe presentar la solicitud de cambio de motor intraborda a la Administración marítima junto a la documentación técnica necesaria para que la se pueda realizar la evaluación del proyecto.


La solicitud de carácter general dada por la Dirección de la Marina Mercante se muestra a continuación:



 MINISTERIO DE FOMENTO	SECRETARÍA GENERAL DE TRANSPORTES DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE
SOLICITUD DE <input type="checkbox"/> MONTAJE <input type="checkbox"/> DESMONTAJE <input type="checkbox"/> CAMBIO DE MOTOR INTRABORDA/INTRAUFUERABORDA	
DATOS DEL TALLER	
C.I.F.	RAZON SOCIAL
DOMICILIO (Calle, Plaza, y Núm. Piso, puerta)	
POBLACIÓN	
PROVINCIA	
CÓDIGO POSTAL	TELÉFONOS DE CONTACTO
FAX	
Datos del apoderado /administrador	
D.N.I.	NOMBRE
PRIMER APELLIDO	
SEGUNDO APELLIDO	
DATOS DEL TITULAR REGISTRAL	
D.N.I. / C.I.F.	NOMBRE O DENOMINACIÓN SOCIAL
APELLIDOS, EN SU CASO	
Datos del apoderado /administrador	
D.N.I.	NOMBRE
PRIMER APELLIDO	
SEGUNDO APELLIDO	
DATOS DEL DOMICILIO A EFECTO DE NOTIFICACIONES	
DOMICILIO (Calle, Plaza, y Núm. Piso, puerta)	
POBLACIÓN	
PROVINCIA	
CÓDIGO POSTAL	TELÉFONOS DE CONTACTO
FAX	
DATOS DE LA EMBARCACIÓN / BUQUE	
NOMBRE DEL BUQUE.	PUERTO DE MATRÍCULA
ISTA	FOLIO - AÑO
ESLORA	
NIB	PUERTO DE ATRAQUE
Datos del motor/es a montar	
MOTOR/ES (seleccionar la que proceda) <input type="checkbox"/> Intraborda <input type="checkbox"/> Intrafueraaborda <input type="checkbox"/> Gasolina <input type="checkbox"/> Gas oil	MARCA Y MODELO
Nº SERIE	
CV	
Datos del motor/es a desmontar	
MOTOR/ES (seleccionar la que proceda) <input type="checkbox"/> Intraborda <input type="checkbox"/> Intrafueraaborda <input type="checkbox"/> Gasolina <input type="checkbox"/> Gas oil	MARCA Y MODELO
Nº SERIE	
CV	

2. Solicitud cambio de motor intraborda. (1/2)
Fuente: Capitanía Palamós



 MINISTERIO DE FOMENTO

SECRETARÍA GENERAL DE TRANSPORTES
DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

DOCUMENTACIÓN A APORTAR (Marque con una X la documentación que se acompañe)	
<input type="checkbox"/> 1	Copia compulsada DNI, Pasaporte o NIF(en vigor)
<input type="checkbox"/> 2	Consentimiento para que mis datos de identidad puedan ser consultados por la DGMM en virtud del RD 522/2006, de 28 de abril
<input type="checkbox"/> 3	Escritura de constitución de la Sociedad, estatutos, apoderamiento y fotocopia del C. I. F. en su caso
<input type="checkbox"/> 4	Informe favorable de la autoridad pesquera, en su caso
<input type="checkbox"/> 5	Documentación relativa al motor (seleccionar la que proceda): <input type="checkbox"/> Factura de compra o contrato liquidado de impuestos <input type="checkbox"/> Certificado de aduanas del importador <input type="checkbox"/> Documentación CE
<input type="checkbox"/> 6	Certificado de potencia del motor
<input type="checkbox"/> 7	Tasa vigente Modelo 790 - 025 (disponible en Internet www.fomento.es)
<input type="checkbox"/> 8	Otra documentación

AUTORIZA

A D/ Dña. _____ con DNI _____
para actuar en mi nombre ante la Capitanía, al objeto de realizar todos los trámites necesarios, que aquí se solicita, incluso recibir notificaciones, retirar la documentación resultante de la misma.

SOLICITA

Autorización para el

☐ Montaje.
☐ Desmontaje.
☐ Cambio del motor/es previamente indicados.

En _____ a _____ de _____ de _____

Fdo.: El propietario _____ Fdo.: El autorizado _____

Fdo.: El taller _____

CAPITANÍA MARÍTIMA/DISTRITO MARÍTIMO DE _____



Rellenando la solicitud con la información indicada en la hoja anterior y adjuntando la documentación que se tenga en el momento de realizar la solicitud se procederá a su evaluación y se dictarán los requisitos que deberá cumplir el proyecto de reforma de cambio de motor en un documento llamado: requerimiento de subsanación.

A continuación, se describe la documentación que se debe presentar en la totalidad del proyecto para poder tramitar correctamente la reforma:

- Copia compulsada del DNI, pasaporte o NIF del armador de la embarcación.
- Escritura de constitución de la Sociedad, estatutos, apoderamiento y fotocopia del C.I.F: Indica la empresa la cual ejerce la sustitución física del motor.
- Documentación relativa al motor:
 - Factura de compra o contrato liquidado de impuestos: Este documento se entrega una vez aprobado el proyecto ya que el comprador normalmente invierte en la maquinaria una vez la sustitución sea autorizada, si no se podría encontrar que el motor adquirido no sea apto delante la normativa para aprobar el proyecto.
 - Certificado de aduanas del importador: En caso de que el motor sea importado de un país extranjero.
 - Documentación CE: Esta documentación hace referencia al catálogo del motor donde se verifican sus especificaciones técnicas y si procede, la copia de declaración de conformidad de la modificación realizada.
- Certificado de potencia: La potencia declarada del motor sustituido.
- Tasa vigente Modelo 790-025
- Otra documentación.
-

En este caso, al ser un proyecto académico, la documentación CE oficial del motor no se adjuntará. La marinización del motor Volkswagen, se considera una modificación importante del motor, el taller o profesional responsable de realizar la marinización, debe realizar el procedimiento de conformidad con el fin de obtener el certificado de homologación otorgado por un Organismo de evaluación de la conformidad. El motor



pasa a ser dominio del responsable de su modificación otorgándole un nuevo nombre. Por ejemplo, en el caso de la empresa SOLÉ DIESEL, dedica a la marinización de motores de combustión, a todas sus modificaciones se les otorga un nuevo nombre, aunque el motor fuese de origen Volkswagen o de otras marcas.

Al no tener los recursos económicos necesarios y el tiempo para realizar un proceso homologación de un motor marinizado para obtener el certificado oficial, el procedimiento de conformidad será de carácter académico, es decir, se realizará el proceso para avalar el cambio realizado conforme con los requisitos que establece la normativa dictada en el Real decreto 98/2016.

No obstante, el motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ de 4 cilindros se presenta marinizado en la lista de motores marinos de Volkswagen-marine, por lo tanto, significa que el motor es apto para el uso en embarcaciones y cumple con los requisitos que exige la normativa, por lo tanto, no supondría un problema obtener el certificado. Como se puede observar en la siguiente tabla:

MOTOR	POTENCIA (CV)	N.º CILINDROS
Volkswagen SDI-40-4	40	4
Volkswagen SDI-45-4	45	4
Volkswagen SDI-50-4	50	4
Volkswagen SDI-55-5	55	5
Volkswagen SDI-60-4	60	4
Volkswagen SDI-75-5	75	5
Volkswagen TDI-115-4	115	4
Volkswagen TDI-100-5	100	5
Volkswagen TDI-120-5	120	5



Volkswagen TDI-150-5	150	5
Volkswagen TDI-165-5	165	5
Volkswagen TDI-225-6	225	6
Volkswagen TDI-265-6	265	6
Volkswagen TDI-350-8	350	8

Tabla 1. Motores Diésel Volkswagen marine.

Fuente: www.boatdiesel.com/Engines/Volkswagen/Volkswagen

2.3.2. Requerimiento de subsanación para el proyecto de reforma.


Para obtener el requerimiento de subsanación se ha consultado en Capitanía de Palamós, la Autoridad notificadora más próxima. Pero al no presentar la solicitud de forma oficial, no se puede otorgar dicho documento. No obstante, se me ofreció un requerimiento de subsanación de un proyecto de cambio de motores de otra embarcación con las mismas características del presente trabajo.

En el siguiente documento se expresan los requerimientos de subsanación de una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros. Carece de marcado CE ya que el año de construcción es anterior del 16 de junio de 1998, lo cual es anterior a la aplicación del Real Decreto 297/1998. Como se podrá observar, se presentan todos los requisitos que se pueden pedir en la sustitución de motores, por lo tanto, servirá perfectamente para comprobar que se cumple con la normativa vigente.

En el requerimiento se exige la realización de una memoria técnica donde se demuestre el cumplimiento de la normativa descrita. La resolución de los requerimientos exigidos se realiza en el apartado 9. *Memoria técnica de la obra de reforma por cambio de motores de la embarcación Starfisher 540.* Antes se realiza la marinización del motor a instalar y seguidamente se desarrolla el procedimiento de conformidad de la modificación realizada, cumpliendo con la normativa establecida en el Real decreto 98/2016, la cual rige los requerimientos de conformidad de los motores de propulsión de combustión interna instalados en embarcaciones de recreo.



7-Bo-2-581 7-Bo-2-581 05.12.2017

 MINISTERIO DE FOMENTO

SECRETARÍA GENERAL DE TRANSPORTES
DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE
DISTRITO MARÍTIMO DE ROSE

O F I C I O

S/REF.
NREF. 2017-235-002194
FECHA 30/11/2017
ASUNTO CAMBIO DE MOTOR YB PRINCIPAL DE LA EMBARCACIÓN

Taller solicitante: []
Representa: []

N Reg 5376
Nº Doc: 201723504013 F Reg: 30/11/2017 13:00
Nº Exp: 201723502194 Dest: 997/000
D.G.M.M. []

Requerimiento de subsanación

Su solicitud presentada en fecha 29/01/2017 referente al **cambio de motor principal**, no reúne los requisitos exigidos o faltan documentos preceptivos, como se determina en los **Reales Decretos 1837/2000 y 1434/1999**. Por ello, se le **REQUIERE** para que, de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 68 de la Ley 39/2015 de 1 de octubre del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas (BOE número 236, de 02 de octubre de 2015), en el plazo de **DIEZ DIAS** subsane la falta o acompañe los documentos preceptivos, indicándole que si así no lo hiciera, se le tendrá por desistido de su petición, previa resolución dictada de acuerdo con los términos previstos en el Artículo 21 de la citada Ley del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

1. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor realizada por taller autorizado, quien nombrará un Director de obra.
2. Presentar una memoria técnica y/o proyecto de la obra de reforma que abarque:
 - a) Descripción de la embarcación y de sus datos principales (conforme a la ISO 8666:2002). Una justificación de la nueva potencia máxima admisible (conforme a la ISO 11592:2016 si es aplicable), que deberá tener en cuenta:

CORREO ELECTRONICO

Distrito Marítimo de Roses
Avda Tarragona s/n
17480 Roses
Telf: +34 972 15 09 77
Fax: +34 972 15 09 77



- i. Máxima potencia posible en función de la capacidad de maniobra de la embarcación: Se presentará informe de ensayo de maniobrabilidad (conforme a la ISO 11592:2016 si es aplicable).
 - ii. Máxima velocidad para la cual se ha calculado el escantillonado de la embarcación. Las características del laminado deberán estar convenientemente definidas. Para el cálculo se utilizará la norma ISO que sea aplicable según las características de la embarcación.
 - iii. Máximo peso del motor para cumplir con los requerimientos del francobordo, estabilidad y flotabilidad. Cuando sea necesario se realizará ensayo de estabilidad para verificar que se cumple con los requisitos de la norma ISO que sea aplicable según las características de la embarcación (12217-1:2015; 12217-2:2015; 12217-3:2015).
- b) Definición: de las instalaciones requeridas para la nueva potencia propulsora (bancadas y polines, líneas de ejes, instalación eléctrica, equipo de gobierno, escapes húmedos, etc).
- c) Un estudio de la capacidad de carga máxima conforme a la ISO 14946:2001.

NOTA: La memoria y/o proyecto deberá estar realizado por técnico competente y disponer del seguro de responsabilidad civil. Los ensayos de estabilidad, si procede, deberá realizarlos un técnico competente en presencia de esta Inspección Marítima

Mediante este documento se notifica a presente requerimiento, según lo exigido por el Artículo 40 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

En Roses, a 30 de noviembre de 2017

El Jefe del Distrito Marítimo



Fdo.:

MINISTERIO
DE FOMENTO

3. Descripción y análisis del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.

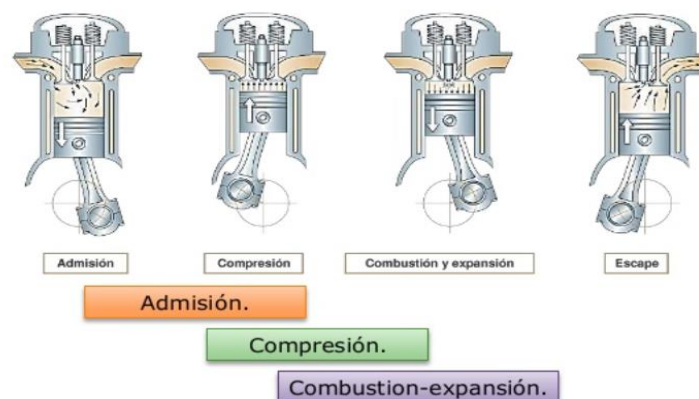
Antes de realizar el proceso de marinización, es preciso conocer el nuevo ámbito de trabajo del motor terrestre donde se tendrá que adaptar. Por lo tanto, se debe proceder al análisis del Volkswagen 1.9 TDI ATJ y de los equipos y sistemas que lo componen, con el fin de realizar correctamente el proceso de adaptación del motor en una embarcación. En los siguientes apartados se describen las características técnicas de los sistemas auxiliares implicados en el correcto funcionamiento del motor:

Los sistemas que se analizan en los siguientes apartados son:

- Sistema de combustible.
- Sistema turbocompresor.
- Sistema de escape.
- Sistema de admisión
- Sistema de lubricación.
- Sistema de refrigeración.
- Sistema eléctrico/electrónico.

3.1. Contextualización de la actividad de reforma.

El principio del ciclo de trabajo de un motor terrestre de combustión interna de 4 tiempos es exactamente el mismo que un marino: admisión- compresión- trabajo (combustión y expansión) - escape. No obstante, la diferencia entre los dos motores son



6. Ciclo termodinámico motor Diesel
Fuente: Artículo ciclo motor Diésel (en línea)



las condiciones de trabajo del medio donde cumplen su operación. El motor terrestre no dispone de agua de mar como medio de refrigeración del calor producido por la combustión interna de los cilindros, su sistema de refrigeración usa aire como refrigerante externo, a diferencia de los motores marinos, que utilizan agua de mar. Sin embargo, se encuentran en un ambiente más corrosivo, y al no permitirse un fallo en medio de la navegación en el mar, los sistemas auxiliares deben dotarse de mayores dispositivos de seguridad y proceder con un mantenimiento más exhaustivo.

El proceso de marinización consiste básicamente en la modificación de los sistemas auxiliares mencionados. También es de importancia proceder con la adaptación de las fijaciones del sistema motor en la bancada de la embarcación y la correcta ventilación del compartimiento. No obstante, la modificación de mayor importancia de este proceso, es la del sistema de refrigeración. Se debe sustituir el radiador por un intercambiador de calor que en vez de emplear aire para enfriar el calor producido por las explosiones del motor sea el agua el elemento refrigerante.

La modificación de los otros sistemas auxiliares también es de gran importancia y serán elemento de análisis y estudio de este capítulo, con la finalidad de cumplir con los objetivos del proceso de marinización.

Esta actividad de “repair&refit” es considerada una modificación importante del motor, consecuentemente se debe realizar un procedimiento de conformidad del producto para que la modificación sea avalada por el Organismo de Conformidad que certifique su uso como motor marino.



3.2. Diferencias entre el motor terrestre y el motor marino.

Las condiciones de trabajo de un motor en una embarcación, marcan las principales diferencias entre el motor terrestre y el motor marino. Los motores marinos son contruidos con materiales más pesados y de mayor espesor para resistir el contacto permanente con un ambiente corrosivo. Este hecho hace que estos motores, con las mismas prestaciones de potencia, sean más pesados que los motores terrestres, lo que conlleva que la embarcación sea más pesada y ofrezca más resistencia al avance en la navegación y consecuentemente un consumo mayor de combustible. En cambio, el motor de automóvil, obtiene las mismas prestaciones con menor peso, por lo tanto, la embarcación ofrecerá menor resistencia al avance y no se necesitará de mayor potencia y el consumo disminuirá. No obstante, se deberá procurar una mayor protección en el compartimiento del motor asegurando una zona estanca y seca.

Una de las diferencias más importantes en cuanto al funcionamiento del motor está en el sistema de refrigeración. En el motor terrestre, la refrigeración está diseñada para utilizar el aire como medio refrigerante del agua dulce del motor y en una embarcación se utiliza el agua del mar para este fin, con resultados más eficaces por la diferencia de densidad entre los dos fluidos. Con la finalidad de conseguir un mayor rendimiento, en una embarcación se debe diseñar un intercambiador de calor liquido-liquido, el cual enfriará el líquido refrigerante, los gases de escape y, en este caso, la admisión del turbocompresor. En este sistema es necesario la instalación de una bomba capaz de obtener y transmitir la cantidad de agua salada adecuada para abastecer los nuevos equipos instalados.

El sistema de escape también se adapta totalmente al medio marino, ya que se pasa de un sistema de escape en seco a un sistema de escape húmedo o semi-seco, es decir, que los gases de escapes serán enviados dentro del agua de mar para así reducir las emisiones sonoras de las detonaciones del motor. Los demás sistemas auxiliares del motor presentarán diferencias para su adaptación en la embarcación, lo cual dependerá de las características de cada motor y de la embarcación que se realice su instalación.



3.3. Especificaciones técnicas del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ

Para realizar una correcta marinización, es importante tener en cuenta las especificaciones técnicas que presenta el motor y analizar los sistemas auxiliares que tiene instalado para proceder correctamente con la modificación de estas partes. A continuación, se desarrolla la descripción de las características del motor y sus sistemas principales. La siguiente información se ha obtenido del catálogo oficial, el cual se puede consultar en los anexos del trabajo.

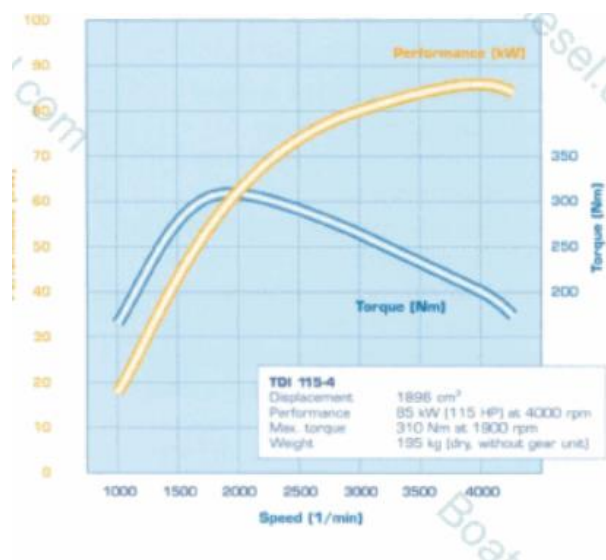
El Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ es un motor de automóvil de 4 cilindros en línea, de bloque de fundición de hierro y una culata de aluminio. Con un total de 4 válvulas por cilindro y el inyector situado exactamente en el centro de la cámara de combustión en posición vertical. La cilindrada es de 1896 cm³, con una potencia de 115 CV (85 kW), de inyección directa con gestión electrónica que inyecta el combustible Diesel directamente al cilindro.

La serie de producción ATJ obtiene un mayor par motor en comparación a los motores AJM, de 310 Nm a 1900 rpm. Su diseño optimiza el consumo de combustible y prácticamente no se generan vibraciones a revoluciones de funcionamiento bajas. Estas características lo hacen óptimo para su uso en una embarcación ya que el par motor garantiza un buen rendimiento en la transmisión de la potencia a la hélice, y sus escasas vibraciones obtienen un confort ideal para la navegación en el mar.

En la siguiente tabla se describen las principales características. Al no disponer de otro catálogo, los datos se han obtenidp del motor VW 115-4, que corresponde a la serie de motores Volkswagen Marine ya adaptado para su uso marino, por lo tanto, los datos son los mismos que el motor objeto de estudio de este proyecto, no obstante, los datos de las dimensiones y peso que presenta, son obtenidos con los elementos ya instalados durante la marinización del motor por parte del fabricante Volkswagen. Los siguientes datos también servirán como orientación a lo largo del proceso.

ESPECIFICACIONES	
Motor	VW 1.9 TDI 115-4 ATJ
Tipo	4 cilindros Turbo-Diesel
Año	2000
N.º cilindros	4 en línea
Cilindrada (cm ³)	1896
Ratio de compresión	18, 0:1
Potencia (kW)/ rpm	85/4000
Potencia (Cv)/ rpm	115/4000
Max. Par motor (Nm)/rpm	310/1900
Consumo de combustible específico (g/kWh)	200
Peso neto motor (Kg)	126
Peso motor en seco (Kg)	136
Peso motor VW 4-115 (Kg)	195
Alternador	120 A
Sistema eléctrico	12 V
Sistema de combustible	Inyección directa
Sistema de admisión	Turbo-super-compresor de escape
Refrigerante	4,8 l

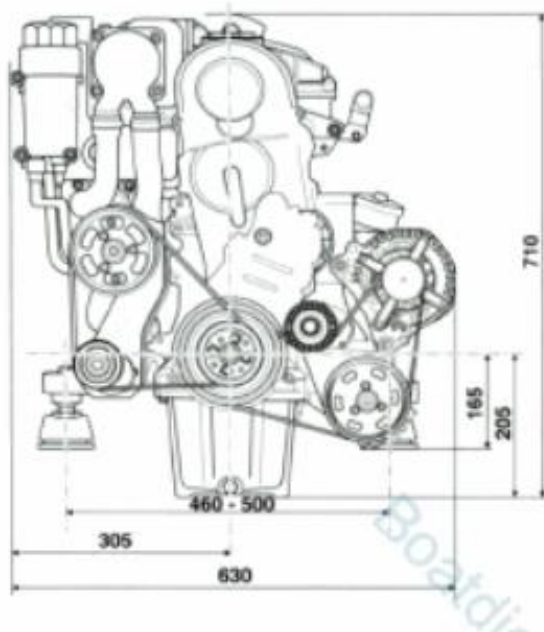
Tabla 2.Especificaciones técnicas del motor VW 115 TDI 1.9 ATJ



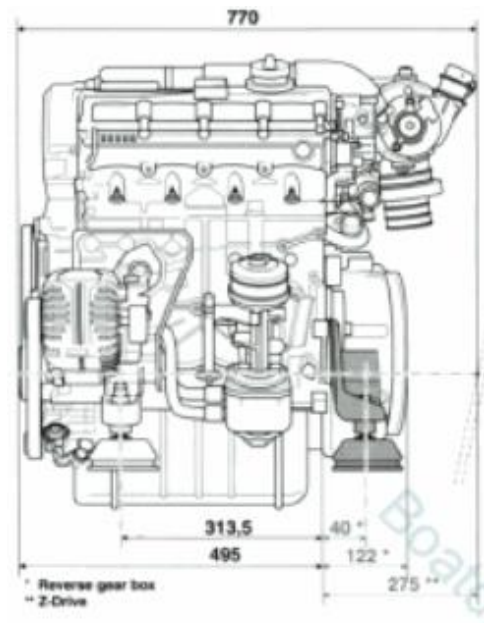
7. Curva de potencia VW 115 TDI 1.9 ATJ

Fuente: Catalogo motor VW4-115

En las siguientes imágenes se muestran las dimensiones del motor. Es importante tenerlas en cuenta en la instalación a la bancada de la embarcación para ubicarlo correctamente con el fin que afecte lo mínimo posible la variación del CG.



9. Dimensiones perfil VW 1.9 115 TDI ATJ
Fuente: Catálogo motor VW 4-115



8. Dimensiones alzado VW 1.9 115 TDI ATJ
Fuente: Catálogo motor VW 4-115

El catálogo del motor se puede encontrar en los anexos del presente proyecto.



3.4. Sistemas auxiliares del motor.

La adaptación del motor al medio marino depende de la modificación de los sistemas auxiliares del motor, por lo tanto, es importante conocer bien el funcionamiento de estos sistemas para realizar un correcto procedimiento de marinización. En los siguientes apartados se analizan los sistemas auxiliares del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.

Un motor de combustión interna Diésel, transforma la energía química producida en la combustión del carburante en energía mecánica. La operación del motor consiste en la ignición del combustible a alta presión en la cámara de combustión, donde el aire comprimido por el propio cilindro se encuentra a una temperatura de entre 700 y 900 °C. Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente, produciendo la expansión del gas que provoca el movimiento del pistón a lo largo de su carrera. La biela transmite el movimiento al cigüeñal, que transforma el movimiento rectilíneo alternativo en movimiento de rotación. Este principio de funcionamiento es el mismo en los motores de combustión interna Diésel marinos. No obstante, para que el motor trabaje correctamente se precisan de una serie de sistemas auxiliares que aseguren su funcionalidad y complementen el sistema de propulsión en la embarcación.

3.4.1. Sistema de combustible.

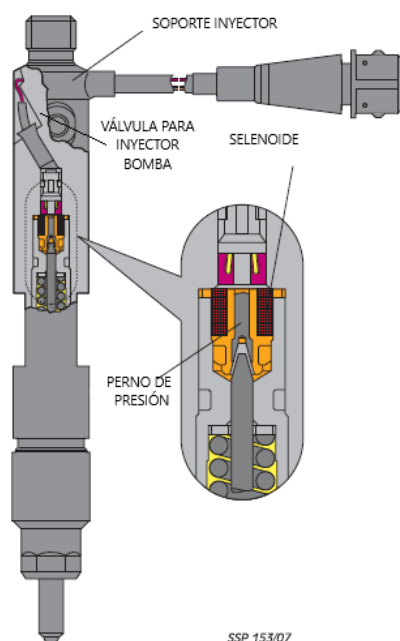
El combustible necesario para generar la explosión se obtiene del depósito del carburante que circula hasta la cámara de combustión donde es inyectado a los cilindros. El combustible circula por una serie de sistemas de filtrado con el fin de entregarlo en las condiciones más óptimas posibles para así obtener el máximo rendimiento del motor.

Los principales elementos del sistema de combustible son los siguientes:

- Depósito de carburante.
- Filtro de combustible.
- Tuberías de acero.
- Inyector-bomba con gestión electrónica.

Es importante aclarar que, de los elementos mencionados, solo están integrados al motor el sistema de inyector-bomba, es decir, el tipo, fabricante o forma de los demás elementos dependerá del vehículo donde este instalado. Durante el proceso de marinización, se realiza su elección acorde a las características que presenta la embarcación.

El inyector-bomba con gestión electrónica se aplica en los motores TDI 100, 115, 130 y 150, donde cada cilindro tiene su propia bomba de alta presión que es accionada por el mismo árbol de levas, elemento que controla la abertura y cierre de las válvulas de admisión y escape. Cuando se acciona este mecanismo, la válvula del solenoide del inyector se activa y permite la salida de gasoil a muy alta presión hacia el cilindro. Cuando cesa la corriente eléctrica, la válvula se cierra y la inyección se detiene. La unión entre la bomba e inyector, permite un mejor control de la inyección al eliminar el camino intermedio entre ambas. En la siguiente imagen se puede observar las distintas partes el despiece del inyector:



SSP 153/07

10. Inyector-bomba electrónica
Fuente: Manual motor VW .19 TDI

El sistema de control electrónico se comenta en el apartado 3.4.8 Sistema eléctrico donde se analiza el funcionamiento del sistema de control de la inyección.



Otro tema importante a tener en cuenta del sistema de combustible, es el consumo de carburante durante el funcionamiento del motor. Es importante fijarse en este dato para obtener un cálculo orientativo de la cantidad de combustible que se necesitará para garantizar cierta autonomía en la embarcación.

El consumo de combustible del motor no es un tema trivial a definir ya que depende de varios parámetros que influyen para determinar su valor, por ejemplo, el régimen de potencia, el tipo de combustible, si es un motor atmosférico o turbo, de inyección directa, etc.

En general depende directamente de la potencia utilizada y del rendimiento del motor. La potencia se obtiene a partir de la expresión matemática $P = Fuerza \cdot Velocidad$, por lo que viene a expresar que cuanto más peso se arrastre, más fuerza tiene que aplicar para poder mover la embarcación a cierta velocidad, por lo tanto, se tiene que trabajar a un régimen de potencia superior y consumirá más combustible.

El Volkswagen 1.9 TDI ATJ, es un motor de aspiración por turbocompresor y de inyección directa por inyector-bomba. Estos factores incrementan su rendimiento y reducen el consumo en comparación con otros motores. Respecto a los de gasolina, el poder calorífico del diésel es algo inferior, es decir, que por la misma cantidad de masa genera menos energía. Por lo tanto, debería consumir más litros para producir el mismo trabajo, no obstante, al ser de combustión por ciclo Diésel hace que el rendimiento sea en torno al 10% superior a uno de gasolina y su consumo total es inferior.

Todos estos factores influyen en el consumo del motor y no se puede determinar de forma exacta ya que depende de la forma de conducción, de sus sistemas auxiliares y del vehículo donde este instalado.

Para obtener una orientación del consumo se procede a relacionar los distintos regímenes de potencia, con el consumo específico que indican las características técnicas del motor. Con los siguientes datos se establece una relación del consumo en litros por hora de funcionamiento y la potencia utilizada.

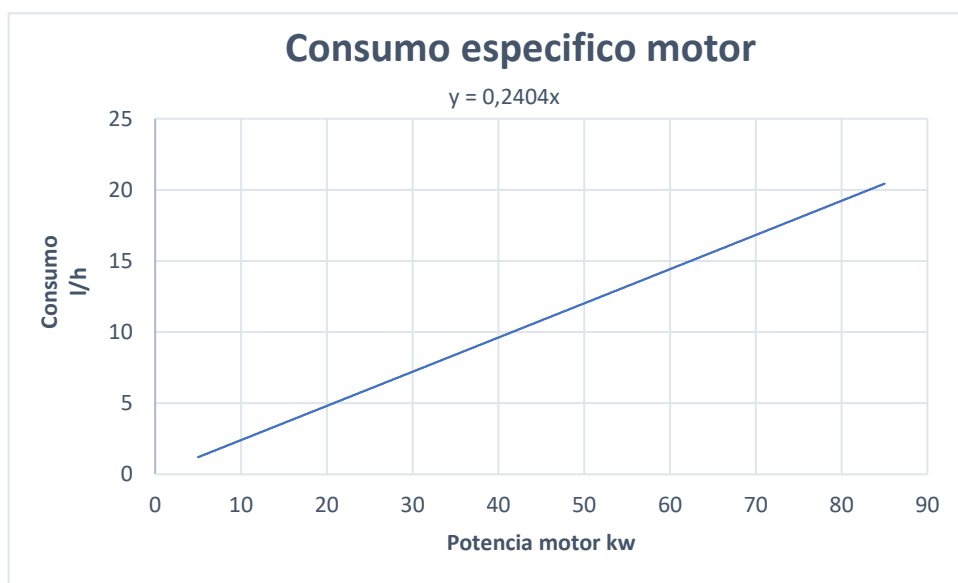
A partir de los siguientes parámetros:

- Consumo específico del motor: 200 g/kWh
- Densidad del carburante Diésel: 832 g/l

Se obtiene la relación expresada en la siguiente tabla:

kW	g/h	l/h
5	1000	1,20192308
10	2000	2,40384615
15	3000	3,60576923
20	4000	4,80769231
25	5000	6,00961538
30	6000	7,21153846
35	7000	8,41346154
40	8000	9,61538462
45	9000	10,8173077
50	10000	12,0192308
55	11000	13,2211538
60	12000	14,4230769
65	13000	15,625
70	14000	16,8269231
75	15000	18,0288462
80	16000	19,2307692
85	17000	20,4326923

Tabla 3 Consumo durante el régimen de trabajo del motor





La relación obtenida es de: $Y = 0.2404 * X$, por cada kW, el consumo se incrementará 0,24 litros por hora de funcionamiento. Este dato nos indica el consumo específico del motor, es decir, que el consumo dependerá del régimen de trabajo y del periodo de tiempo que se aplique.



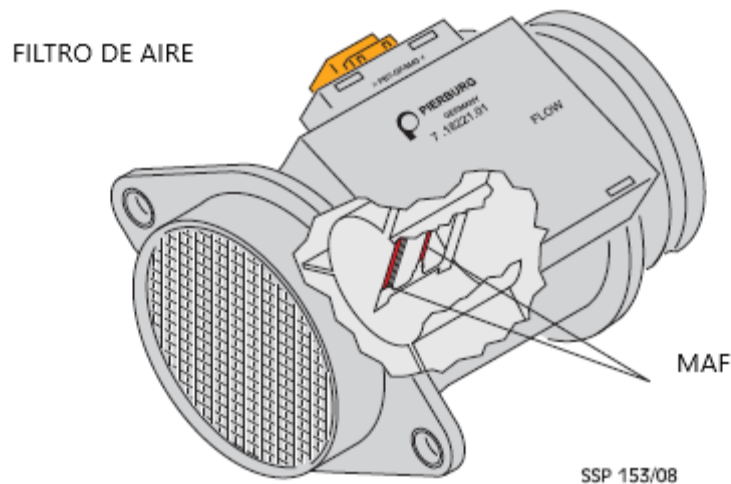
3.4.2 Sistema de admisión.

El sistema de admisión es el conjunto de elementos de filtrado responsables del tratamiento del aire de aspiración del motor. La generación de las condiciones acordes para el tratamiento del aire influye directamente en el proceso de combustión, por lo tanto, el objetivo de este sistema es conseguir el máximo rendimiento energético, produciendo el mínimo de emisiones de gases contaminantes posible. Los elementos que lo componen proveen al motor de aire limpio a una velocidad y temperatura acorde a la necesidad del régimen de potencia en que trabaje. Entonces, es de gran importancia la generación de las condiciones óptimas durante el tratamiento del aire involucrado en el proceso de combustión, lo que finalmente influye en el rendimiento total del motor.

El aire de admisión proviene del exterior por lo que implica la posible entrada de impurezas dentro del motor que podrían ocasionar problemas durante el proceso de combustión, por ejemplo, una combustión incompleta, la cual genera mayores gastos de combustible y mayor contaminación. Por lo tanto, se deben instalar filtros de aire que eviten la entrada de partículas

El Volkswagen 1.9 TDI 115 tiene instalado un filtro de aire de dimensiones 206x30x283 (anchura- altura- longitud), dentro de estas medidas se pueden tener filtros de distintas gamas y fabricantes. En el mismo filtro se incorpora un medidor de caudal de aire, llamado MAF (*mass-air-flow meter*), que informará a la ECU (*electronic control unit*) de la cantidad de aire aspirado para poder controlar electrónicamente este sistema y conseguir las condiciones óptimas de aspiración en los diferentes rangos de potencia.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo gráfico del filtro de aire que incorpora el motor Volkswagen 1.9 TDI 115:



11. Filtro de aire y sensor MAF VW 1.9 TDI 115 ATJ
Fuente: Manual de taller del motor VW 1.9 115 TDI

Para evitar tener un filtro y un tubo de admisión distinto por cada cilindro, el aire que entra se suministra a los cilindros a través de una estructura tubular llamada colector de admisión, de esta manera solo es necesario la instalación de un filtro de aire.

Seguidamente, una vez asegurado que el aire aspirado este limpio de impurezas, el colector de admisión lo dirige hacia al grupo turbocompresor que comprimirá el aire aspirado, por lo que entrará un mayor volumen dentro del cilindro, con el fin de optimizar la combustión y, en consecuencia, obtener un mayor rendimiento del proceso de combustión.

No obstante, al comprimir el aire de admisión, hace aumentar su temperatura, por lo tanto, antes de introducirlo dentro del cilindro, este es dirigido a un pequeño intercambiador térmico aire-aire. Este sistema de refrigeración incrementa la densidad del aire por lo que se consigue la aspiración de mayor volumen y al reducir la temperatura, también se consigue aumentar el rendimiento energético de la combustión. El turbocompresor se analiza como un sistema auxiliar en los siguientes apartados, pero se puede considerar un elemento del sistema de admisión.



El motor Volkswagen 1.9 TDI 115 incorpora el sistema de recirculación de gases de escape a través de la válvula EGR, por el cual el aire comprimido de admisión es mezclado con una proporción de gas de escape residual, con el fin de minimizar las emisiones de NO_x. Esta mezcla de aire va dirigida hacia los cilindros que, a través de la válvula de admisión, es dirigido dentro de la cámara de combustión. Esta operación es controlada por la válvula EGR del sistema de escape.

Los elementos que componen el sistema de admisión del motor son los siguientes:

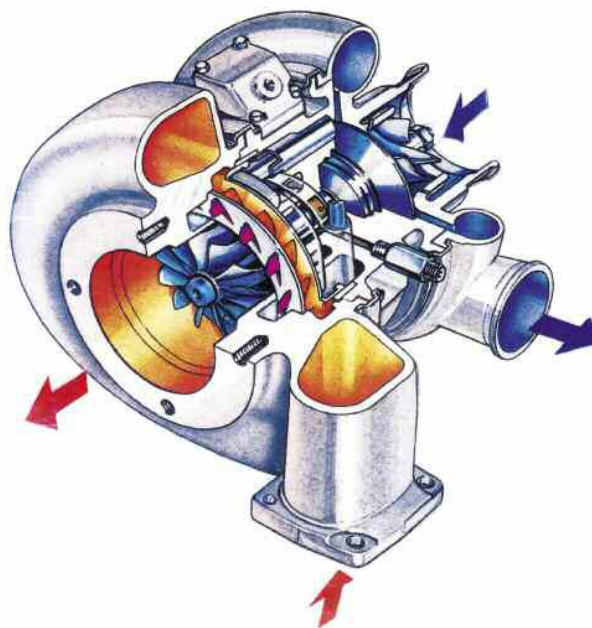
- Toma de admisión de aire.
- Filtro de aire.
- Colector de admisión.
- Árbol de levas (controla la abertura y cierre de las válvulas).
- Válvula de admisión.

El esquema del sistema de admisión del motor Volkswagen 1.9 115 TDI ATJ, se muestra en el apartado 3.2.3.5, junto los sistemas de escape y el grupo turbocompresor.

3.4.3 Sistema turbocompresor.

El sistema turbocompresor tiene la función de comprimir el aire que entra en los cilindros aportando una mayor masa de aire. Con este elemento se consigue una combustión más rica en oxígeno mejorando el rendimiento del motor. Este sistema de sobrealimentación utiliza una turbina centrífuga accionada por los gases de escape del motor y mediante un eje coaxial conectado a un compresor, comprime los gases de admisión que alimentarán el motor. Generalmente, con el uso de turbocompresores, se suele obtener un incremento del rendimiento aproximado de entre el 40% y 50%, comparado con un motor atmosférico.

En la siguiente ilustración se puede observar el principio de funcionamiento del turbo compresor:



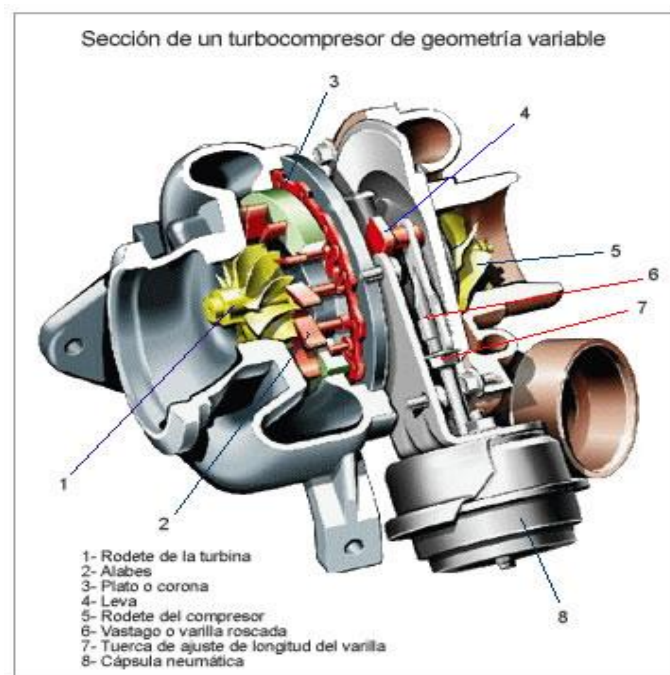
*12. Principio funcionamiento Turbocompresor.
Fuente: Catálogo Garret.*

El VW 1.9 TDI 115 ATJ incorpora un turbo compresor de geometría variable, modelo Garret VNT15, capaz de comprimir el aire con eficacia tanto a bajas como a altas revoluciones. Los turbos convencionales tienen el inconveniente que a bajas revoluciones el rodete de la turbina apenas es impulsado por los gases de escape,

consecuentemente el motor se comporta como si fuera atmosférico. Una solución es utilizar un turbo pequeño de bajo soplado que comprime el aire aspirado a partir de bajas revoluciones, no obstante, cuando trabaje a altas necesitará un volumen de aire superior y el turbo de bajo soplado no tiene la capacidad suficiente para comprimir todo el aire, por lo tanto, la potencia ganada en bajas se pierde en altas.

El diseño del VTG (turbo compresor de geometría variable) permite corregir este inconveniente, ya que gracias a su diseño es capaz de comprimir el aire a bajas y altas revoluciones del motor. A consecuencia de comprimir el aire, se aumenta su temperatura, por lo tanto, se debe incorporar un intercooler que lo enfríe con el fin de conseguir el máximo rendimiento del motor.

La siguiente ilustración se muestra las diferentes partes del VTG:



13. VTG (Turbocompresor de geometría variable)

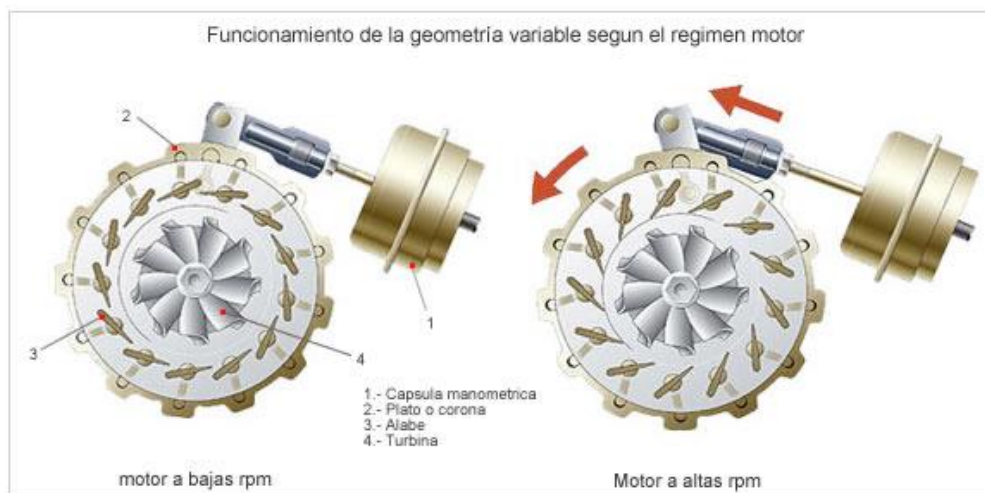
Fuente: Catálogo Garret.

Para conseguir una óptima compresión del aire en los diferentes regímenes de trabajo, el VTG dispone de unos alabes de ángulo variable que se regulan según el estado en que trabaje el motor. Esta operación se consigue mediante un mecanismo de émbolos que son empujados por una capsula neumática controlada por la ECU, que, mediante los

sensores de presión, detecta en que régimen de trabajo se encuentra el motor y acciona el sistema mecánico del turbocompresor.

Para conseguir la máxima compresión del aire a bajas rpm, los alabes se cierran disminuyendo la sección entre ellos por lo que se incrementa la velocidad de los gases de escape que incidirán con mayor fuerza sobre las paletas del rodete de la turbina. Cuando el motor aumenta de rpm, se aumenta la presión del aire en el colector de admisión y la capsula neumática acciona los alabes, abriendo el ángulo de incidencia y provocando la disminución de velocidad de los gases de escape que circulan sobre la turbina.

En la siguiente ilustración se puede apreciar el funcionamiento interno del turbo de geometría variable, así como la posición de los álbes según el régimen del motor.



14. Funcionamiento álbes VTG.
Fuente: Catálogo Garret.

Una vez analizado el sistema del turbo compresor se puede determinar que lo forman los siguientes elementos:

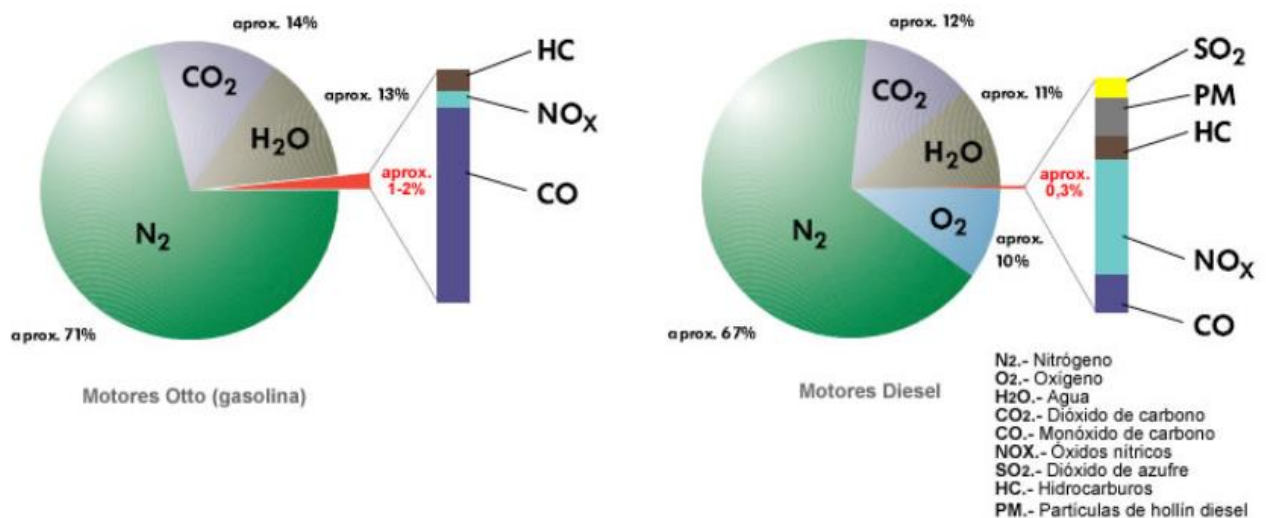
- Turbo compresor.
- Intercambiador de calor.
- Colector admisión y escape.

3.4.4 Sistema de escape.

En un volumen determinado de aire, se encuentra una proporción del 78% de nitrógeno (N_2) mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente del 21%, el 1% restante se compone de gases como: el dióxido de carbono (CO_2), argón (Ar), neón (Ne), helio (He), hidrógeno(H), otros gases y vapor de agua (H_2O).

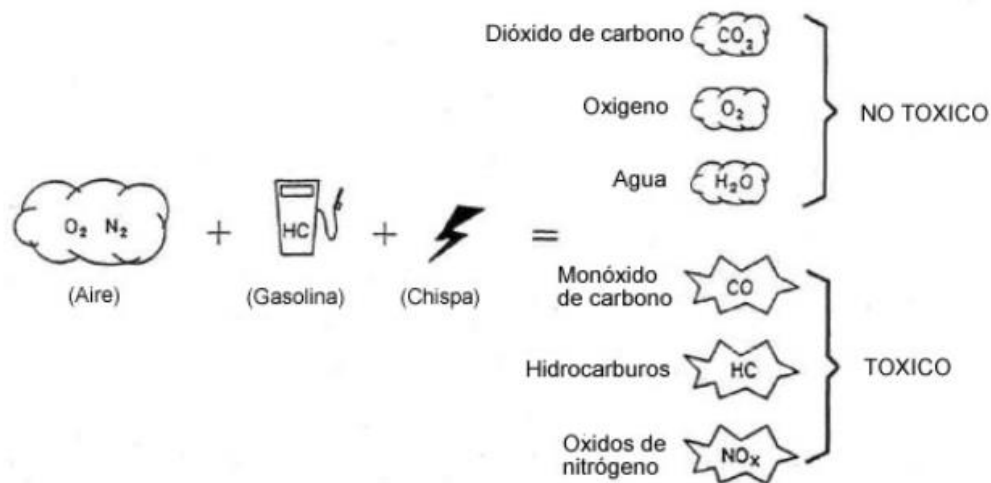
El gas producido durante la combustión, contiene cientos de compuestos químicos. Los principales productos gaseosos son: dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno (N) y vapor de agua. Los motores Diesel carecen de mariposa para limitar la cantidad de aire admitida y, en consecuencia, hay más oxígeno en los cilindros del que puede ser consumido. Las altas temperaturas que se generan durante la combustión desencadenan una reacción química con el exceso de oxígeno, de forma que se pueden originar óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas hollín o hidrocarburos (HC). Importante decir que estas sustancias representan una fracción muy pequeña del total de los gases de escape.

A continuación, se muestran las diferentes sustancias que integran estos gases y la composición aproximada que despiden los motores Diesel comparado con los motores de ciclo Otto (gasolina).



15. Composición gases de escape

Fuente: Artículo sobre las emisiones de escape de los motores Diésel.



16. Clasificación gases de escape

Fuente: Artículo sobre las emisiones de escape de los motores Diésel.

Los gases producidos durante la combustión, deben ser evacuados para volver a iniciar el primer tiempo de admisión. Son extraídos del motor a través de los colectores de escape, que los transportan desde el cilindro del motor al silenciador y finalmente al exterior. Hay varios elementos que intervienen en esta extracción, ya que deben ser tratados correctamente para evitar su efecto sobre el medio ambiente.

El inicio del proceso de extracción, se inicia en el árbol de levas que controla la abertura y cierre de las válvulas de escape, se dirigen hacia al colector y finalmente al silenciador. Dependiendo del diseño de la geometría de los colectores, variará la velocidad de escape consiguiendo mejorar el rendimiento de la combustión del motor.

El motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ incorpora en este sistema, la válvula de recirculación de los gases de escape (EGR, *Exhaust Gas Recirculation*). Se utiliza para reducir las emisiones, principalmente el óxido de nitrógeno. Su funcionamiento consiste en reenviar una parte del gas de escape al colector del sistema de admisión, con ello se consigue que descienda el contenido de oxígeno del aire aspirado por el motor, que provoca un aumento de la temperatura de combustión por lo que se consigue reducir hasta un 15% de las emisiones de NO_x , y las emisiones de CO y HC con un menor porcentaje. No obstante, al utilizar este sistema se reduce el rendimiento de la



combustión ya que se aumenta la temperatura en el cilindro y también la cantidad de CO₂.

La recirculación de los gases de escape es controlada por la ECU, que determina la cantidad que debe ser enviada al colector de admisión para reducir las emisiones. El sistema de control de la ECU se desarrolla en el apartado del sistema electrónico.

Gran parte de los gases son dirigidos a través de los colectores al exterior pasando por el turbocompresor, activando la turbina de este sistema. El último elemento por donde circulan es el silenciador, que tiene la función de suavizar el ruido de las explosiones del motor con el fin de reducir las emisiones de contaminación sonoras.

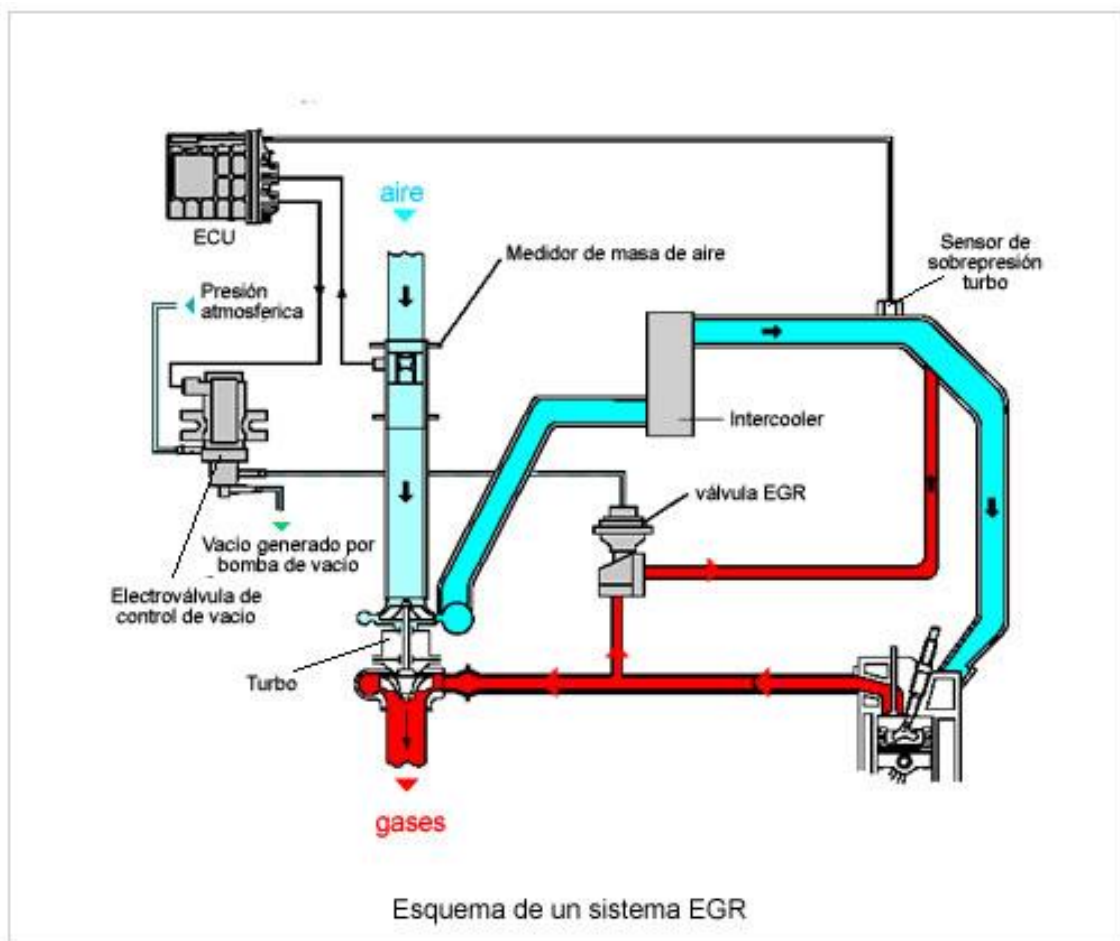
Por lo tanto, la estructura del sistema de escape está formada por los siguientes elementos:

- Sistema de distribución (Árbol de levas)
- Válvula de escape
- Colectores de escape
- Válvula EGR
- Silenciador

3.4.5 Esquema del sistema de tratamiento del aire del motor: turbo compresor – admisión- escape.

A continuación, se muestre el esquema que forman los sistemas del tratamiento de los fluidos gaseosos del motor:

- Sistema de admisión.
- Sistema turbocompresor.
- Sistema de escape.



17. Esquema sistema escape VW 1.9 TDI 115 ATJ
Fuente: Manual de taller del motor VW 1.9 TDI 115



3.4.6 Sistema de lubricación.

El sistema de lubricación tiene como objetivo distribuir constantemente el aceite lubricante entre las piezas del motor manteniendo una película a cada una de las superficies de sus elementos, con el fin de evitar el desgaste causado por el rozamiento durante la operación del motor. El aceite es el encargado de evacuar considerables cantidades de calor de los mecanismos en movimiento que no pueden ser alcanzados por el sistema de refrigeración, también protege el motor de las posibles impurezas del aire y de la humedad, que podría causar corrosión en las distintas partes del motor. Otra función importante del sistema de lubricación, es limpiar las pequeñas partículas de carbonilla o metal del motor, y neutralizar los ácidos producidos durante la combustión.

Los puntos principales a engrasar en el motor son:

- Paredes de cilindro y pistón.
- Bancadas del cigüeñal.
- Pie de biela.
- Árbol de levas.
- Eje de balancines.
- Engranajes de la distribución.

El cárter motor inferior cumple con la función de depósito, donde la bomba de aceite aspira e impulsa el fluido en las distintas partes que deben ser lubricadas. A la salida de la bomba, el aceite pasa por un filtro para limpiar posibles impurezas que pueda contener. Si la presión del sistema fuese mayor de la necesaria se acoplaría una válvula de descarga para mantener la presión constante.

Particularmente el sistema de lubricación del Volkswagen 1.9 115 TDI consta de las siguientes características:



- Presión de aceite a 80°C
 - Al ralentí: 1 bar mínimo
 - A 2000 rpm 2 bar mínimo
- Tarado de la válvula de descarga
- Capacidad del aceite motor (cárter + filtro): 4,5 litros



3.4.7 Sistema de refrigeración.

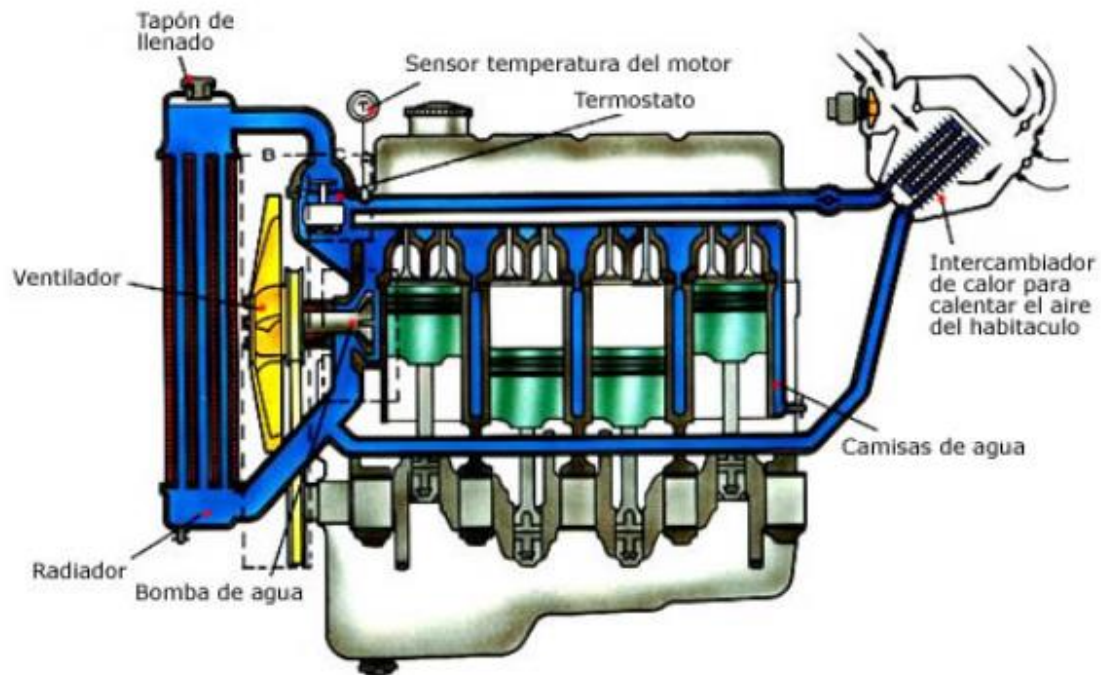
Durante la combustión gran parte de la energía se disipa en forma de calor. Dependiendo del diseño del motor, solo se aprovecha alrededor del 33% como energía mecánica. En consecuencia, dentro del cilindro se llegan a temperaturas con máximas de entre 1700 y 2500°C, al estar por encima del punto de fusión de los metales empleados en la construcción del motor, se podrían causar daños irreparables en los mismos si no se refrigerase el sistema.

Aunque esta temperatura sea instantánea, ya que disminuye durante la expansión y escape de los gases, la temperatura media es muy elevada, y si no instalara un sistema de refrigeración para evacuar gran parte del calor producido en la expansión de los gases, la dilatación de los materiales sería tan grande que produciría en ellos agarrotamientos y deformaciones.

Para la extracción del calor residual y optimizar las condiciones de trabajo de las piezas del motor, el enfriamiento se produce a través de las paredes exteriores del cilindro, entrando en contacto directo con las camisas y cámaras de combustión. El calor radiado se absorbe a través del líquido refrigerante y se transporta hacia el radiador, donde se enfría y seguidamente se dirige al circuito para cumplir nuevamente con su función. Parte del cual se utiliza también para refrigerar el aceite lubricante y el aceite de la caja de cambios.

En general, los sistemas de refrigeración de automóviles, se instala en serie a la salida del agua caliente del motor, un pequeño intercambiador de calor que acondiciona la temperatura dentro del vehículo según las exigencias del usuario, este sería el sistema de calefacción.

En la siguiente imagen se puede apreciar una distribución general del sistema de refrigeración:



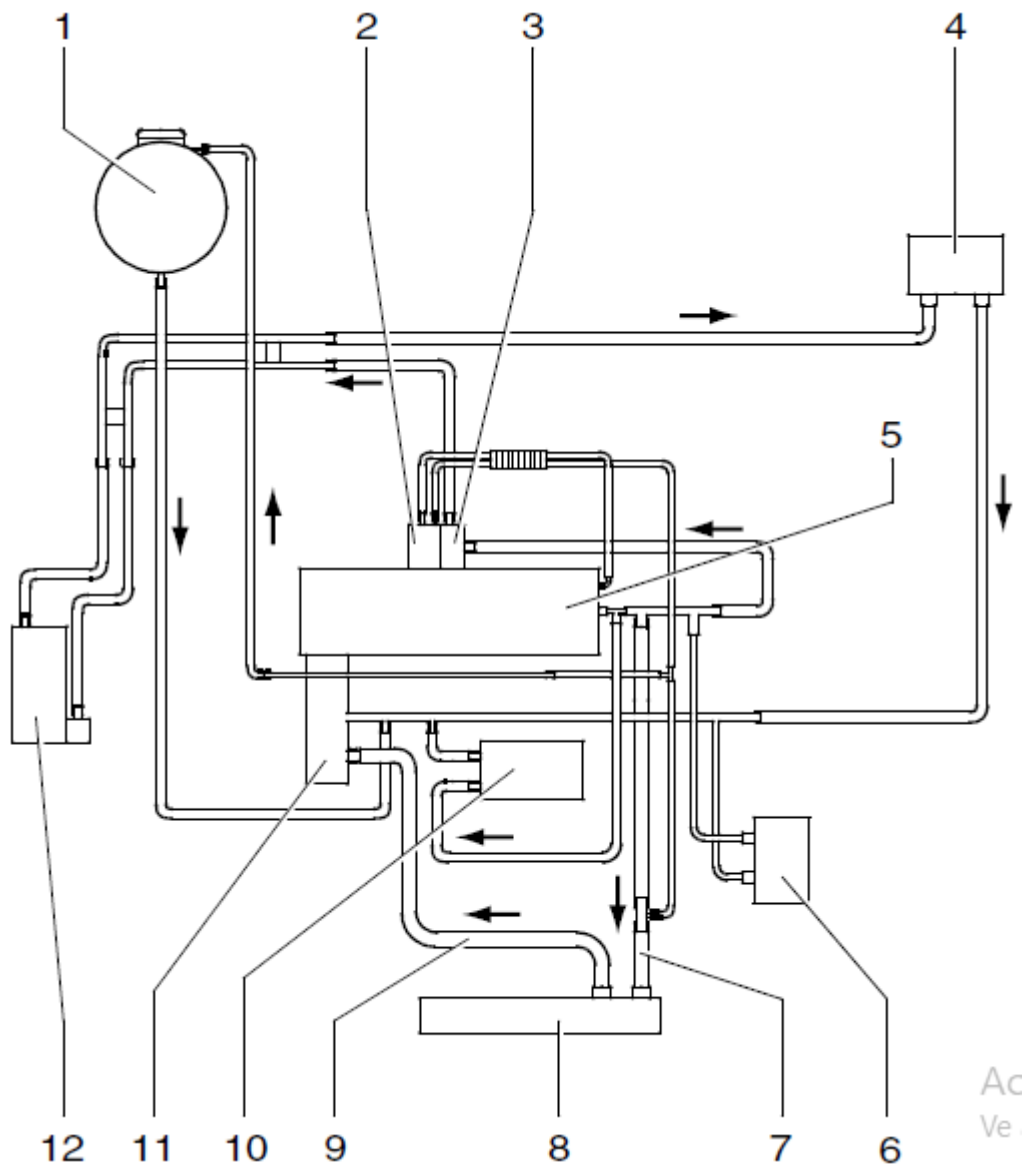
18. Distribución general sistema de refrigeración
Fuente: Artículo: sistema de refrigeración de motores Diesel.

El Volkswagen 1.9 TDI ATJ 115 consta de un sistema de refrigeración de circuito cerrado que contiene agua dulce presurizada entre 1 y 1,5 bar, mezclada con un aditivo refrigerante que eleva el punto de ebullición entre 115 °C y 130 °C y protege las piezas del motor de aleación ligera contra la corrosión. También disminuye la temperatura de congelación. Este fluido se llama líquido de refrigeración, anticongelante o agua del motor.

El circuito está diseñado para refrigerar los siguientes sistemas:

- Culata/Bloque motor
- Radiador de aceite lubricante
- Intercambiador de calor de la recirculación de gases de escape
- Intercambiador de calor para la calefacción.
- Radiador de aceite de la caja de cambios

En la siguiente ilustración se puede observar la distribución general del sistema y los elementos que lo forman:



19. Circuito del sistema de refrigeración del VW 1.9 TDI 115
Fuente: Manual de trabajo del motor VW 1.9 TDI 115

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	
1. Depósito de expansión	2. Termostato válvula bypass
3. Radiador del sistema EGR	4. Intercambiador de calor de la calefacción
5. Bloque Motor	6. Radiador de aceite caja de cambios



7. Tubo flexible superior	8. Radiador
9. Tubo flexible inferior	10. Intercambiador de calor aceite motor
11. Bomba de líquido refrigerante	12. Calefactor adicional sistema de calefacción

Tabla 4. Elementos del sistema refrigerante del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ

La bomba que aspira el fluido del depósito de agua refrigerante y de la parte baja del radiador, impulsa el líquido llenando el circuito hacia las distintas cámaras internas del cilindro y la culata del motor, al radiador de aceite lubricante, al intercambiador de calor de la recirculación de gases de escape y al resto del circuito cerrado.

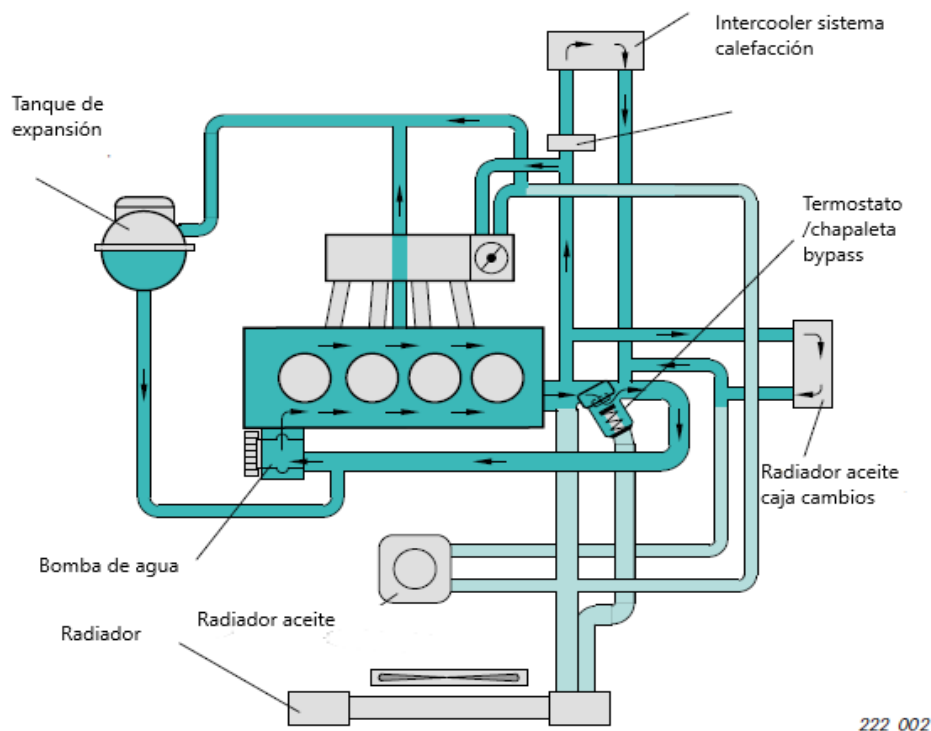
Se puede considerar que el sistema de refrigeración está dividido en dos circuitos independientes, el circuito de refrigeración del bloque motor y el circuito de refrigeración de los demás elementos. Una parte del líquido refrigerante que absorbe el calor generado en el bloque motor, se dirige hacia la válvula termostato que, según la temperatura del líquido, lo recircula al bloque motor o lo envía hacia el radiador. El resto del circuito está en constante circulación entre el radiador y los demás elementos, independientemente de la temperatura del agua del bloque motor. El uso de esta distribución reduce las emisiones contaminantes de CO, NO_x, HC, disminuye el consumo de combustible y aumenta considerablemente el rendimiento del motor según su régimen de trabajo.

Se establece esta configuración debido a que la temperatura interna del motor debe mantenerse dentro de unos límites establecidos, alrededor de 85°C, para obtener un funcionamiento óptimo y un rendimiento máximo de funcionamiento. Cuando el sistema está en frío, el agua refrigerante se encuentra a temperatura ambiente, y al recircular por el circuito de refrigeración se obtendría un aumento de la temperatura muy lento, por lo tanto, el motor no conseguiría un rendimiento óptimo hasta alcanzar la temperatura de diseño. Para evitar este inconveniente, el sistema es controlado por la válvula termostato situado en la boca de salida de la culata. Cuando la temperatura del agua no alcanza los 85°C, el termostato cierra la válvula de paso impidiendo la salida hacia el radiador y la recircula hacia el motor para alcanzar dicha temperatura. Cuando el termostato detecte que el agua refrigerante alcance los 85°C o más, se acciona y abre

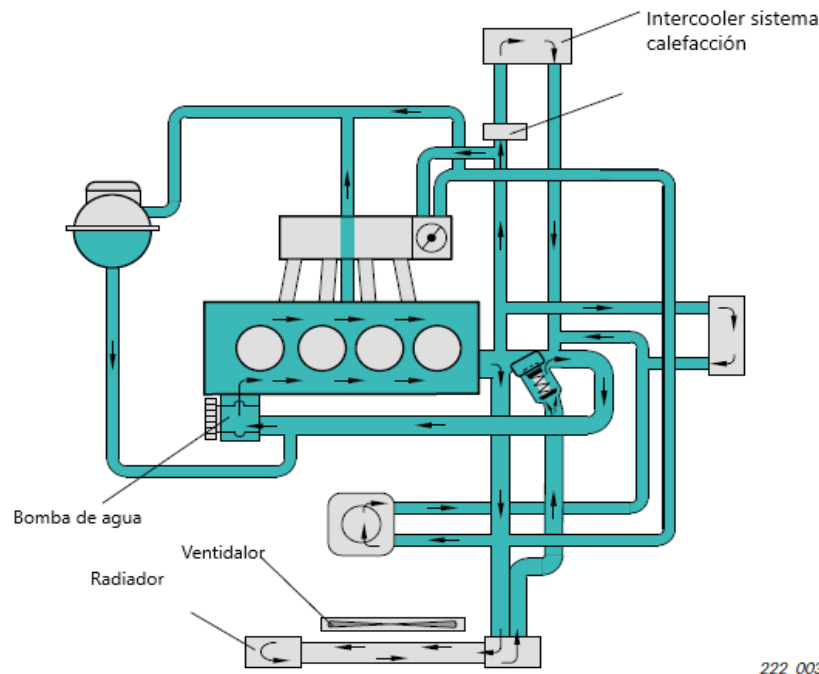
la válvula para que el líquido fluya hacia el radiador y se refrigere para mantener la temperatura ideal de funcionamiento.

El radiador de aceite de la caja de cambios y los demás elementos que forman el sistema de refrigeración, trabajan por circuitos instalados en paralelo al del bloque motor y no depende de la apertura del termostato, por lo tanto, el líquido refrigerante de estos elementos es refrigerado constantemente por el radiador.

En los siguientes esquemas se puede observar la circulación del fluido cuando el termostato está recirculando el agua hacia la culata del motor y cuando la dirige hacia al radiador respectivamente:



20.Circuito refrigerante válvula cerrada
Fuente: Manual de taller del motor VW 1.9 TDI 115



222_003

21. Circuito refrigeración válvula cerrada.
Fuente: Manual de taller del motor VW 1.9 TDI 115

El enfriamiento del líquido refrigerante se realiza en el radiador mediante el contacto indirecto del aire cuando el vehículo se encuentra en movimiento. Se trata de un sistema de refrigeración indirecto por convección de aire. Si el desplazamiento del aire es insuficiente para que se dé a cabo la correcta refrigeración del agua que circula dentro del radiador, se acciona un ventilador que impulsa el aire para obtener el óptimo enfriamiento. El accionamiento se realiza mediante un motor eléctrico que se activa y desactiva automáticamente mediante un interruptor térmico que detecta cuando la temperatura es superior a unos límites marcados, normalmente la conexión se realiza entre 90 °C y 98 °C y la desconexión entre 82 °C a 90 °C.

El Volkswagen 1.9 TDI 115 lleva instalados dos ventiladores de dos velocidades para realizar la refrigeración con una mayor eficacia.



Otro elemento importante para la seguridad del sistema de refrigeración es el tanque de expansión. El depósito contiene líquido refrigerante y una cierta cantidad de aire presurizada separados por una membrana elástica. Al aumentar la temperatura del líquido refrigerante, también aumenta su presión y se expande en el vaso desplazando la membrana elástica, disminuyendo así el volumen ocupado por el gas. Si el proceso es el contrario, cuando la temperatura disminuye, la presión también disminuirá desplazando la membrana en sentido contrario aumentando así el volumen ocupado por el gas. Con este sistema se equilibra el aumento y disminución de la presión dentro de los conductos del circuito asegurando el correcto funcionamiento. El vaso de expansión puede soportar hasta 10 bar de presión.

Las especificaciones técnicas del sistema de refrigeración del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ son las siguientes:

- Vaso de expansión: presurización 1,4 bar a 1,6 bar
- Refrigeración del aceite motor por intercambiador de aceite/agua
- Refrigeración del agua motor por intercambiador de agua/aire
- Termostato:
 - Temperatura de comienzo de apertura: 87 °C
 - Temperatura de fin de apertura: 102 °C
- Capacidad del líquido refrigerante: 5 l



3.4.8 Sistema eléctrico/electrónico.

El sistema eléctrico tiene básicamente dos funciones: arrancar el motor y conectar todos los elementos electrónicos que efectúan el control de los distintos sistemas del motor con la ECU, por ejemplo: la inyección, el turbocompresor, el sistema EGR, etc.

Este sistema permite el ajuste o modificación de los parámetros de funcionamiento a partir de la lectura de los datos de temperatura, presión o nivel, de los distintos sensores que incorpora el sistema. Estos datos los recoge la ECU o centralita, encargada de controlar los distintos mecanismos de los sistemas según la interpretación de los datos obtenidos y así modificar los parámetros de funcionamiento de forma automática con el fin de optimizar el rendimiento de la operación del motor.

El sistema de arranque del motor se compone básicamente de los siguientes elementos:

- Batería.
- Motor de arranque.
- Alternador.
- regulador de corriente.

Su función se basa en accionar la manivela del cigüeñal para conseguir el primer tiempo de expansión que dará inicio a la combustión del carburante. Esta acción consume gran cantidad de corriente con el fin de vencer la gran resistencia que opone la compresión del combustible en la cámara de combustión del cilindro. Esta potencia se obtiene de la batería, la cual se recarga a medida del funcionamiento del motor mediante el alternador, que transforma el movimiento rotativo del cigüeñal en energía eléctrica, que, controlada por un regulador de tensión.

El motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ incorpora un sistema electrónico compuesto básicamente por la ECU o unidad de control, los sensores que captan los valores necesarios para optimizar las funciones de cada sistema.

A través de los sensores, la ECU determina la cantidad de combustible necesaria para la combustión y envía a la bomba inyectora de cada cilindro una señal que indica qué cantidad es necesaria en cada instante de tiempo según el régimen de trabajo del motor.



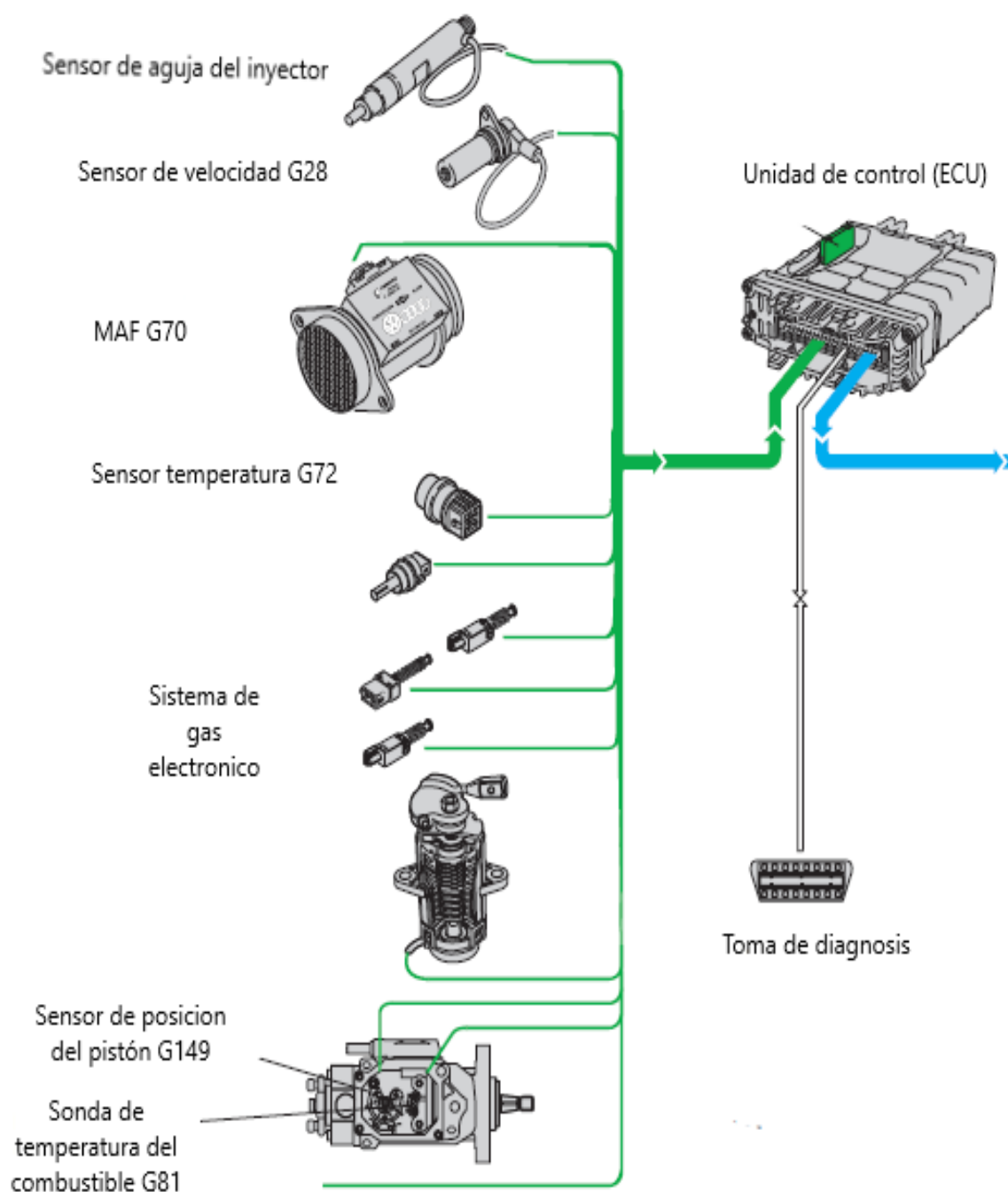
La recirculación de gases EGR, también es controlada por la ECU que, según los parámetros de temperatura del líquido refrigerante, la altitud, la velocidad y otras variables, determinará si el motor podría producir altos niveles de NO_x y en consecuencia accionar el solenoide para abrir la válvula EGR que activaría el sistema. En caso contrario actuaría para cerrar el paso EGR. No obstante, una recirculación en exceso, favorece la producción de CO y hollín, entonces la ECU regula la apertura de la válvula EGR para mantener un equilibrio, no obstante, al activar este sistema, se reduce el rendimiento del motor.

Otra funcionalidad de la ECU es controlar y limitar la presión máxima a la que el turbo comprime el aire de admisión. La presión de carga es corregida según los datos de temperatura y caudal de admisión. Teniendo en cuenta los efectos de la temperatura en la densidad del aire de admisión, asegura que la masa suministrada al motor es constante.

Otras funciones de la ECU son:

- Control de velocidad del motor al ralentí.
- Control de regularidad de marcha.
- Velocidad máxima del motor.
- Arranque en frío.
- Monitorización del sistema.

En el siguiente esquema se pueden observar los distintos sensores que conforman el sistema electrónico de la ECU que cumplen con la función de obtener la información necesaria para el control de los diferentes sistemas del motor:



22. Esquema sensores sistema eléctrico VW 1.9 115 TDi ATJ
Fuente: Manual de taller del motor VW 1.9 TDI 115



4. Estudios previos de los equipos del proceso de marinización.

Una vez analizado el motor terrestre y sus sistemas, se procede a desarrollar el estudio previo del proceso de marinización del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.

Esta actividad de “repair&refit” consiste principalmente en realizar una serie de modificaciones en los sistemas auxiliares y en sus elementos, ya que el principio termodinámico del funcionamiento de un motor marino es el mismo que un terrestre y por lo tanto no se deben realizar modificaciones en el bloque motor ni alterar su ciclo de combustión.

Una vez descritos y analizados los sistemas auxiliares, se deben tener en cuenta las condiciones de trabajo que presenta el medio marino. Durante la navegación, la embarcación se encuentra constantemente en un ambiente húmedo y corrosivo al estar en contacto permanente con el agua de mar, cuyas diferencias condicionan directamente el diseño del equipo propulsor.

Los factores a tener en cuenta que influyen en el diseño de los sistemas auxiliares instalados en el motor y los más diferenciados entre las condiciones de trabajo de un motor terrestre y un motor marino, se definen por lo siguiente:

- Agua como medio refrigerante.

Los motores marinos tienen la función de generar la energía de propulsión para desplazar las embarcaciones ya sea en aguas saladas o en aguas dulces. Se puede aprovechar este fluido como medio refrigerante para la refrigeración del calor producido en la combustión del motor, ya que, al ser un fluido más denso que el aire, resulta más eficaz y, en consecuencia, aumenta el rendimiento del motor y se reducen las emisiones contaminantes.

- Ambiente húmedo y corrosivo.

A diferencia de los automóviles, el propulsor de una embarcación está en contacto permanente con la corrosión microscópica contenida en el vapor de agua. Lo cual puede afectar los diferentes sistemas del propulsor en mayor grado



si no se tienen las medidas de seguridad adecuadas para evitarlo. Para este propósito, se debe asegurar una mayor estanquidad en el compartimiento del motor y la utilización de materiales con mayor resistencia a la corrosión, como aceites que ofrezcan una mayor protección.

- Esfuerzos mecánicos.

Los esfuerzos generados transmitidos hacia el motor durante la propulsión de la embarcación, son diferentes en un motor marino. El empuje generado por la hélice del motor, conducen un esfuerzo axial hacia el bloque motor, por lo que conlleva instalar unas fijaciones capaces de soportar el esfuerzo y absorber las diferentes vibraciones producidas durante la operación del motor. Para este propósito se debe tener en cuenta el peso y potencia del motor para escoger las fijaciones adecuadas.

- Dimensiones del compartimiento del motor.

Los motores intraborda de las embarcaciones se encuentran mayoritariamente dentro de un compartimiento estanco donde sus dimensiones determinan el volumen que puede ocupar el motor. Se deben tener en cuenta estas medidas durante el diseño de los sistemas auxiliares del motor.

Antes de proceder con la marinización del motor, se debe realizar un estudio previo de las características que presenta la embarcación donde irá instalado, con el fin de optimizar la adaptación de los sistemas auxiliares y posteriormente proceder con el desarrollo del diseño y modificación de cada uno.



4.1 Estudio previo del procedimiento de marinización del motor VW 1.9 115 TDI ATJ.

El motor objeto de estudio del presente proyecto, se instala en la embarcación de recreo Starfisher 540, por lo tanto, se realiza como procedimiento previo a la marinización, las descripciones de las principales características que influirán en la modificación de los sistemas del motor con el fin de adaptarlos acorde a estas. Es necesario realizar este paso previo para conocer que sistemas tiene la embarcación y las dimensiones de los compartimentos donde se instalarán los equipos de cada sistema auxiliar, por ejemplo, se deben determinar las medidas de la bancada de motor para determinar que límites hay que tener en cuenta en diseñar los sistemas auxiliares que irán instalados en el motor.

En las siguientes tablas se muestran las especificaciones técnicas de la embarcación obtenidas de la carta de navegabilidad y del proveedor de embarcaciones Fibercraft (actualmente retirados), las características de los equipos que dispone la embarcación, y la toma de medidas de la bancada.

4.1.1 Especificaciones técnicas de la embarcación Starfisher 540:

DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA EMBARCACIÓN

Eslora (m)	5,35
Eslora de flotación(m)	5
Manga(m)	2,08
Puntal(m)	1,16
Calado mín.(m)	0,4
Calado máx.(m)	0,7
Arqueo (TBR)	2,65
Desplazamiento (T m)	1,1
Velocidad máx.(kn)	24
Velocidad de crucero(kn)	16
Ce (motor) (g/KWh)	200

Tabla 5. Dimensiones principales de la embarcación Starfisher 540.

Capacidades de los tanques

	Capacidad	N.º de tanques	Litros por tanque
Tanques de combustible	100	2	50
Tanques de agua dulce	30	1	30

Tabla 6. Capacidad tanques Starfisher 540

El motor se instala en la bancada de la embarcación, por lo tanto, los demás compartimientos no se tienen en cuenta. Sus dimensiones limitaran el espacio que debe ocupar los equipos del motor. Las dimensiones son las siguientes:

Dimensiones de la bancada motor

Largo (cm)	155
Ancho(cm)	70
Altura(cm)	80

Tabla 7. Dimensiones bancadas motor



*23. Bancada motor embarcación Starfisher 540.
Fuente propia*



4.1.2 Especificaciones técnicas del equipo propulsor de la embarcación:

La embarcación Starfisher 540 tiene instalado un motor intraborda Mercruiser 3.0 l de 135 CV capado a 125 CV para su uso en la embarcación, acoplado a una cola propulsora Volvo Penta 290 SP.

4.1.2.1 Motor Mercruiser 3.0 L

Su primer diseño fue realizado para propulsar el automóvil Chevrolet nova de 1958, más tarde fue marinizado por la marca Mercruiser.

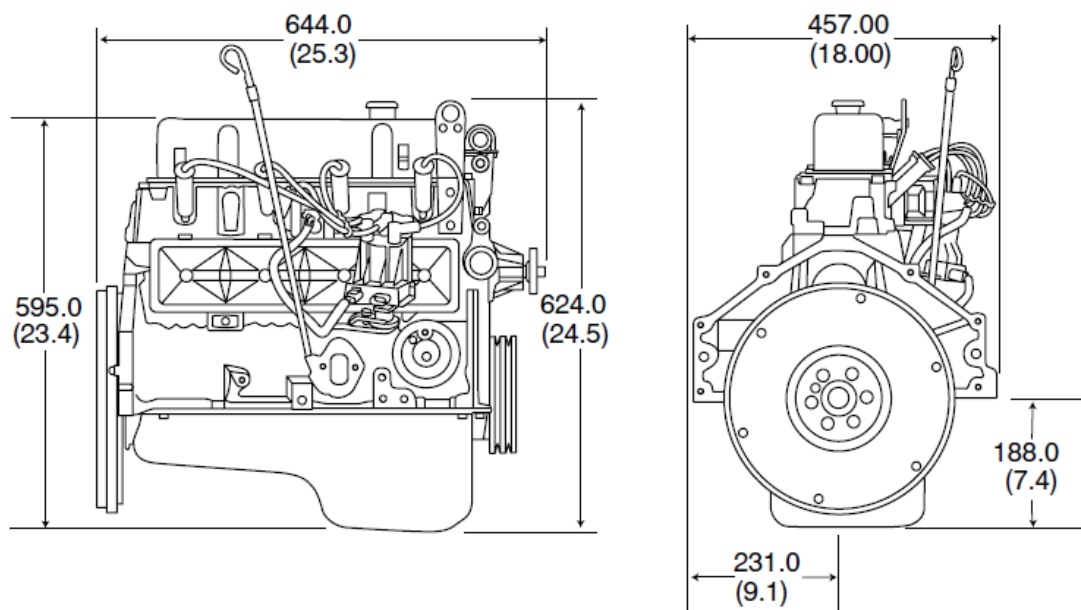
MOTOR MERCUISE 3.0L	
Año	1989
N.º cilindros	4 en línea
Cilindrada (cm3)	3000
Ratio compresión	8,3:1
Potencia (Cv)/rpm	135/4800 (capado a 125)
Potencia (kW)/rpm	101/4800
Max. Par motor (Nm)/rpm	228/2300
Rpm ralentí	700
Peso neto ⁽¹⁾ (Kg)	165
Alternador (A)	55
Sistema eléctrico	12 V
Sistema combustible	Gasolina inyección
Sistema de admisión	Atmosférico
Sistema de refrigeración	Sistema cerrado

Tabla 8. Especificaciones técnicas motor Mercruiser 3.0L

Peso neto ⁽¹⁾: No se incluye el peso de los sistemas auxiliares.

** Los datos se han obtenido del catálogo del motor adjunto a los anexos del proyecto. El catálogo no es original de la casa Mercruiser, no se facilitó la información por parte del fabricante. Se puede observar que el catálogo es de la marca Vortex, cuyo catalogo es publicado libremente en internet. Es el mismo motor, pero adaptado por otra empresa. Presenta diferencias en la potencia, pero no en los otros datos.*

4.1.2.2. Dimensiones del motor Mercruiser 3.0 L



24. Dimensiones Mercruiser 3.0L
Fuente: Catálogo Mercruiser 3.0L

*Dimensiones expresadas en mm

4.1.3. Cola propulsora VOLVO PENTA SP 290:

La bancada del motor está diseñada para la instalación de la cola propulsora VOLVO PENTA SP 290. Presenta varias características que serán de beneficio para la adaptación del motor en la embarcación. Son las siguientes.

- La cola propulsora VOLVO PENTA SP 290, incorpora un sistema de escape húmedo, que expulsa los gases de directamente dentro del agua de mar. Este sistema está preparado para que la mezcla de agua y gas de escape proveniente del cuello de cisne, o en este caso del codo de escape, sea expulsada a través de la aleta de la cola, como se puede observar en la figura 26, la salida de escape es el N.º 16.
- En la siguiente imagen se muestra el colector de escape donde circula el gas del codo de escape hacia la cola.



*25. Colector escape cola-cuello de cisne.
Fuente propia*



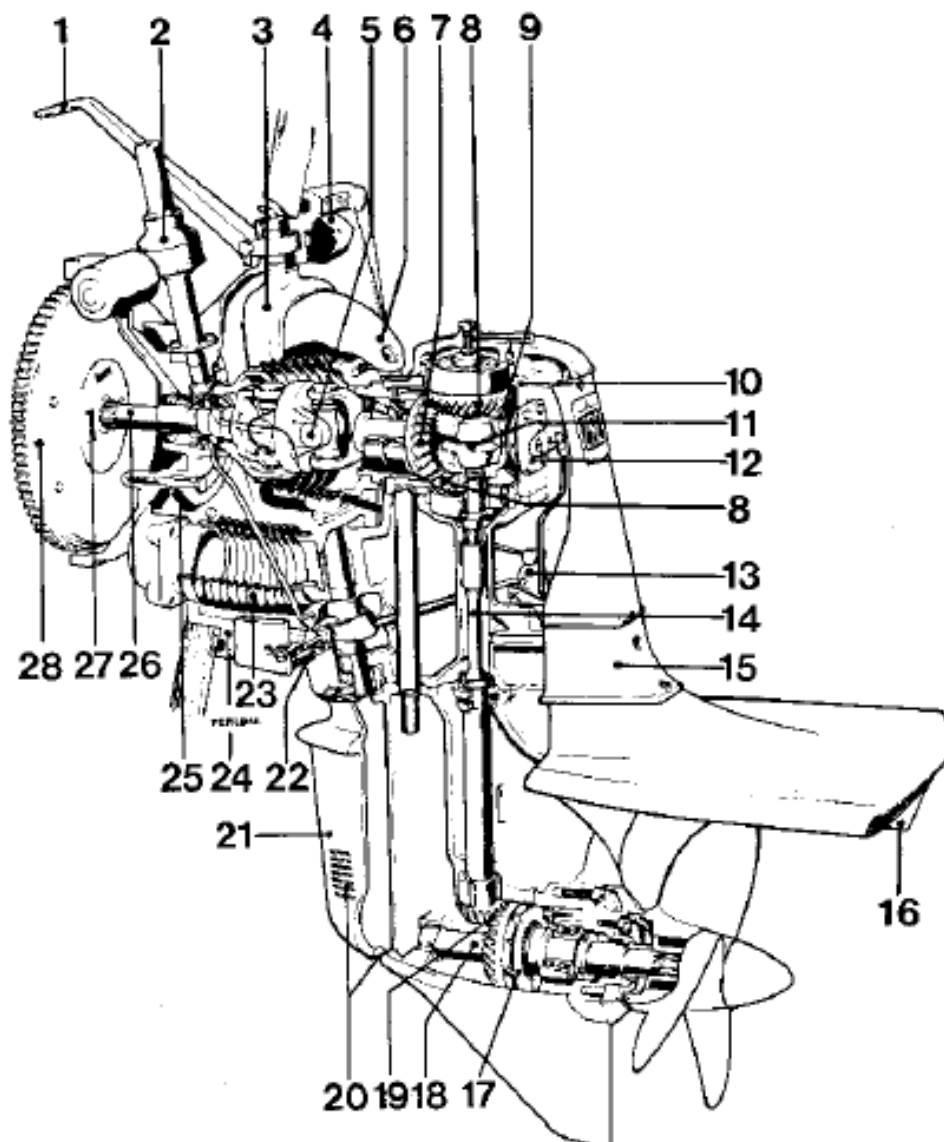
- Incorpora caja de cambios. Este sistema permite no tener que adaptar la caja de cambios del motor terrestre y simplemente desinstalarla. Los engranajes, N.º 8 y N.º 9 de la figura 26, forman el sistema del cambio de marchas.
- Cumple la función de reductora, sistema de engranajes N.º 18 y N.º 19 de la figura 26.
- Como se puede observar en el diagrama, incorpora una unión cardan universal (nº5) que permite, desmontando el embrague de la caja de cambios del motor, conectar el eje de la cola a con un helicoide en el volante de inercia y así conseguir la transmisión entre motor y cola.

A continuación, se presentan las características técnicas de la cola VOLCO PENTA SP 290:

Características cola propulsora	
Modelo	Volvo Penta 290
Tipo	Z
Caja de cambios	Embrague cónico autoajutable
Relación transmisión	2.15:1
Máximo diámetro de hélice	16"
Peso	54 kg
Angulo inclinación	60º
Anclaje eje motor	Unión cardan doble
Par máx.	400 Nm

Tabla 9. Características cola propulsora

Diagrama de la cola propulsora:



26. Cola propulsora Volvo Penta.
Fuente: Catálogo Volvo Penta 290 SP



5. Marinización del motor Volkswagen 115 TDI.

5.1 Sistema de combustible.

El sistema de combustible original del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ se modifica en función de las nuevas condiciones de trabajo que tendrá en la embarcación. Al situarse en un ambiente más húmedo y corrosivo, la adaptación del sistema se centra en las medidas de tratamiento del fluido y seguridad del sistema.

Al cambiar de tipo de combustible que consume el motor, de gasolina a Diésel, es importante tener en cuenta el material de los tanques de combustible. El nuevo motor a instalar es de ciclo Diesel y el material de los tanques debe de ser capaz de mantener la estanquidad y soportar las características químicas que presente el combustible a almacenar.

El sistema está formado por los siguientes elementos:

- Tanques de combustible.
- Sistema de tratamiento del combustible.
- Inyector-bomba.
- Bomba de combustible (tanques).

Al no tener modificaciones en el sistema de inyección, la bomba de alimentación es la misma que la original del motor. También lo es la bomba de combustible, se aprovecha del sistema original dispuesta en los tanques de la embarcación.

La embarcación Starfisher 540 tiene instalados dos tanques de aluminio de 50 litros cada uno, lo que hacen una capacidad total de 100 litros. Están diseñados especialmente para el uso en un ambiente húmedo y corrosivo, por lo tanto, deben resistir la corrosión y estar libre de fugas para preservar la seguridad en la embarcación. Por lo tanto, se podrán mantener los originales ya que el aluminio soportara perfectamente el combustible Diesel. Se disponen en el lateral de la embarcación como se puede observar en la siguiente imagen:



*27. Tanques de combustible Starfisher 540.
Fuente propia*

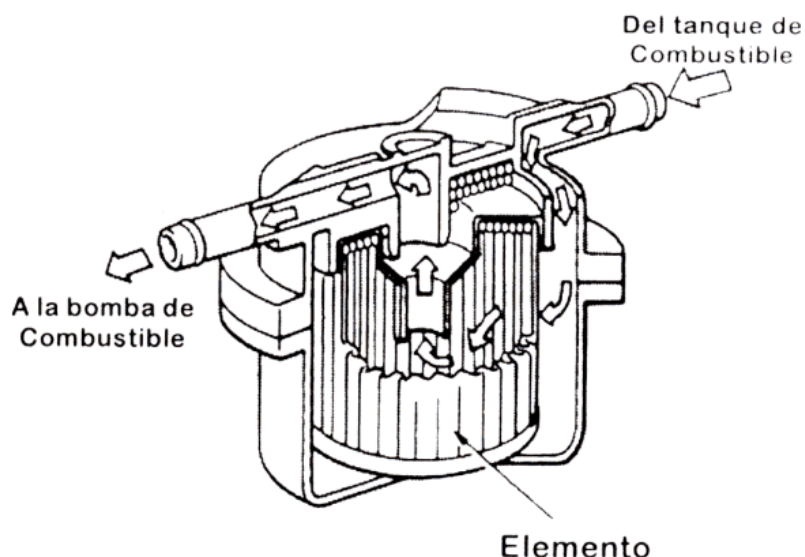


*28. Compartimientos tanques de combustible en la embarcación Starfisher 540.
Fuente propia*

El punto importante en la adaptación de este sistema, es garantizar que el combustible que consume el motor sea lo más limpio posible, es decir, se debe procesar con el fin filtrar las posibles cantidades de agua de mar y las partículas sólidas que pueda contener, puesto que podrían aparecer importantes averías en el motor que podrían llegar incluso a ser irreversibles. El correcto tratamiento del combustible se traduce con un óptimo funcionamiento de la operación del motor y un alargamiento de la vida útil de los elementos que lo componen.

Se debe tener en cuenta que los tanques no siempre tienen asegurado el 100% de estanquidad y en consecuencia de la condensación del vapor de agua, el combustible podría contener pequeñas cantidades de agua. También, durante la carga de combustible directamente de la manguera de la gasolinera del puerto, puede ocasionar la entrada de elementos sólidos, así como la posible entrada de agua de mar. En consecuencia, para garantizar que el motor consuma combustible limpio, se instalan en el sistema una serie de elementos que, por decantación o filtrado mecánico, eliminan el agua y las partículas sólidas. Estos elementos son el filtro decantador y el filtro de combustible.

Filtro de combustible:



Configuración del Filtro de Combustible

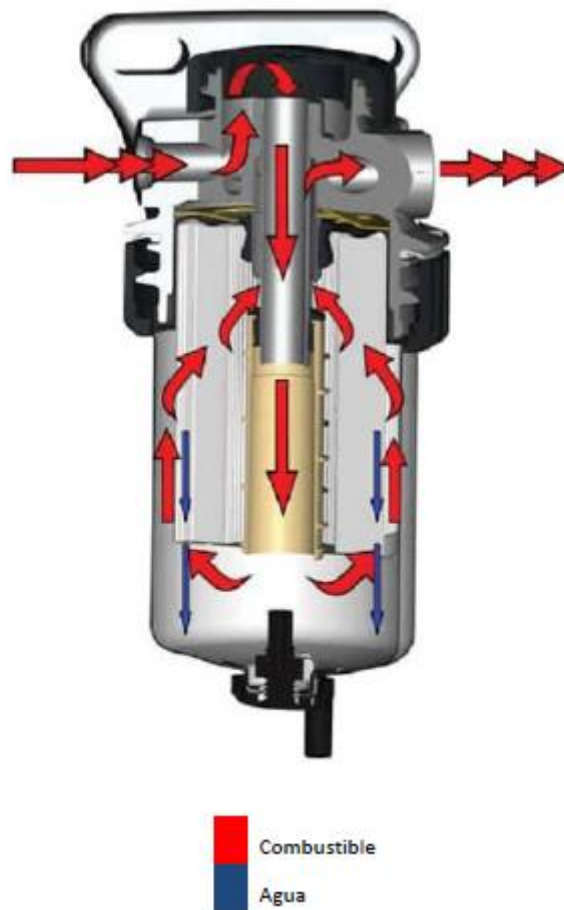
29. Filtro de combustible.

Fuente: Promonautica (en línea)

El combustible entra por un orificio que lo descarga dentro del filtro de papel o malla, que absorben y atrapan las posibles partículas sólidas y posteriormente es bombeado por un tubo situado en el centro del filtro, hacia el siguiente elemento.

Filtro decantador:

Cumple con la función de separar el agua de mar que puede contener el combustible proveniente del tanque. La separación se realiza gracias a la diferencia de densidades que hay entre los dos fluidos. Por densidad, el agua es más pesada y se queda en la parte inferior del filtro y el combustible en la parte superior.



30. Filtro decantador
Fuente: Promonautica

Otro punto importante en la adaptación del sistema de combustible, son las líneas utilizadas para el transporte del tanque hacia el motor. Se deben tener en cuenta los siguientes factores para su correcta adaptación.

Según la norma UNE-ISO 7840 que expone los requisitos esenciales de la instalación del sistema de combustible dados por la directiva europea 94/25/EC para embarcaciones de recreo de hasta 24m de eslora, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El tubo flexible que conecta el tapón de llenado a la entrada de los tanques debe ser de tipo A-2: manguera de goma flexible, con permeabilidad $12 \frac{g}{m^2 \cdot h}$
- La línea que conecta al motor debe ser de tipo A-1 de goma flexible, resistente a altas temperaturas y de permeabilidad $4 \frac{g}{m^2 \cdot h}$.
- La línea de llenado no debe tener secciones horizontales donde el combustible se pueda acumular.

La línea intermedia que conecta el tanque con el filtro decantador, puede ser de metal. Pero las líneas metalizas son demasiado frágiles para resistir las vibraciones del motor, por lo tanto, se instala también la manguera flexible tipo A-2.

A continuación, se muestran las características de los dos tipos de mangueras escogidas del fabricante Thor, necesarias para la instalación del sistema de combustible:



*31. Manguera Thor CARBOPOMP/M I 5C
Fuente: Catálogo fabricante Thor*

Tipo	CARBOPOMP/ M I 5C
Reforzado	Capas de tejido de alta tensión y alambre helicoidal
Exterior	Goma sintética negra, corrugada autoextensible, resistente a la abrasión.
Temperatura	-20 a +80°C
Marcado	MARINE FUEL ISO 7840:2013 A1
Presión / Øi	>10 Bar / 25-60 mm

Tabla 10. Características Manguera Thor CARBOPOMP/M I 5C

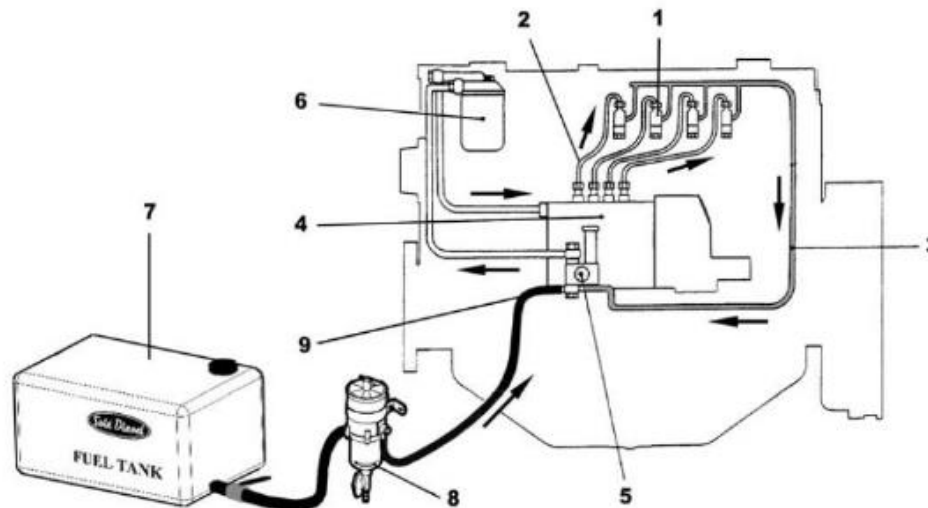


32. Manguera Thor CARBOPOMP / MI5T
Fuente: Catálogo fabricante Thor

Tipo	CARBOPOMP / M I5T
Reforzado	Capas de tejido de alta tensión
Exterior	Goma sintética negra, lisa, autoextensible resistente a la abrasión.
Temperatura	20°C a +80°C
Marcado	ISO 7840:2013 A2 E10/B10
Presión / Øi	>10 o >14 Bar / 12-63mm o 6-10 mm

Tabla 11. Características. Manguera Thor CARBOPOMP / MI5T

A continuación, se muestra el esquema general de la disposición de los elementos del sistema de combustible instalado en la embarcación Starfisher 540 para la instalación del motor marinizado.



33. Esquema general sistema combustible
Fuente: Catálogo motor Mini-2 Sole Diésel.

Elementos sistema combustible		
1. Inyector-bomba	2. Tubos inyección	3. Goma flexible A-1
4. Bloque motor	5. Bomba combustible	6. Filtro combustible
7. Tanque combustible	8. Filtro decantación	9. Conducto aspiración

Tabla 12. Elementos sistema combustible

Siguiendo el esquema anterior, el combustible es almacenado dentro de los tanques a través del orificio llenado dispuesto. Seguidamente es bombeado del tanque hacia los motores, pasando previamente por los elementos de tratamiento, el filtro decantador de agua y el filtro de combustible. Al asegurar el estado óptimo del combustible, es aspirado por los inyectores-bomba que lo inyectan en la cámara de combustión del motor. Los inyectores poseen un conducto de retorno para el combustible que no es inyectado al cilindro.

**Los planos de distribución como del sistema de combustible, se pueden encontrar en los anexos.*



5.2 Sistema de escape.

El sistema de escape del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ es totalmente modificado durante el proceso de marinización. Todos los elementos que incluye el original, son sustituidos debido a su adaptación en la embarcación.

En el diseño del nuevo sistema, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Las altas temperaturas de los gases de escape.
- El ruido molesto de las detonaciones del motor.
- El mal olor de los gases producidos durante la combustión.
- El movimiento oscilatorio de la embarcación.

Existen dos tipos de sistema de escape para motores marinos: El sistema de escape en seco y el sistema de escape húmedo.

El sistema de escape en seco consiste en evacuar los gases de escape directamente a la atmosfera haciendo circular el gas por un silenciador como único elemento de reducción del ruido. En este tipo de escape es necesario la instalación de una chimenea para que los gases salgan al exterior a cierta altura y se evite llenar el espacio de la embarcación de humo. Este sistema se instala en embarcaciones de grandes dimensiones y potencias, ya que se generan tal volumen de gases que, si se descargase por el costado de la embarcación, implicaría una salida en el casco de un diámetro excesivo y sería incómodo para la tripulación.

En embarcaciones de esloras relativamente pequeñas, eslora <24 m, no se suele instalar el escape en seco, ya que, por falta de espacio, no se podría conseguir un adecuado tratamiento del ruido que generan los gases ni una correcta evacuación del humo en la embarcación. También los espacios de las salas de máquinas suelen ser reducidos y el calor generado por los escapes sería un problema.

El sistema de escape húmedo consiste básicamente en mezclar en un elemento llamado colector de escape, el agua de mar procedente del sistema de refrigeración con los gases de escape generados durante la combustión, y expulsar la mezcla dentro del agua de mar.

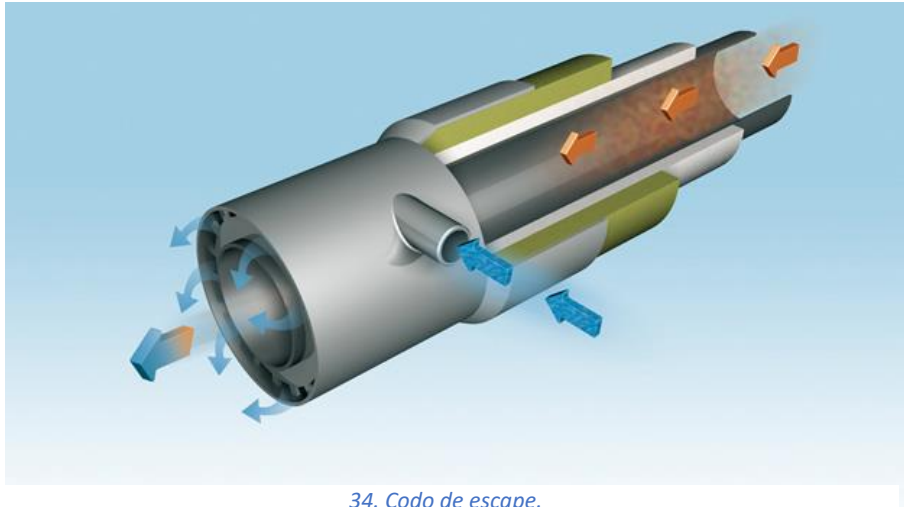


Los gases de escape pueden llegar a los 600 grados de temperatura, al mezclarlos con el agua de mar se consigue una reducción considerable y, en consecuencia, del ruido, puesto que las ondas sonoras son mucho más lentas y alcanzan una menor longitud cuando se desplazan por un medio líquido, en este caso agua de mar. Otro beneficio de instalar este sistema, es la reducción del olor que pueda generar la combustión, al mezclar el agua con el gas, las partículas aromáticas se ven disueltas en el agua y por ende se permite disponer de una atmosfera limpia de olores en cubierta.

En el motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ, los gases de escape salen del motor, a través de un pequeño colector hacia el turbocompresor y de este elemento al exterior. Este sistema se debe adaptar instalando otros elementos donde se produzca la mezcla y la dirigen dentro del agua de mar.

Al tener instalado el turbocompresor, en vez de disponer de un colector de escape, donde se produciría la mezcla, se instala un codo de escape. Este elemento está formado por un tubo interior donde circula el gas proveniente del turbocompresor, y un doble tubo, que rodea el interior, donde circula el agua de mar proveniente del sistema de refrigeración a través de unos orificios. Con este sistema se conseguirá enfriar la temperatura de los gases y reducir las emisiones sonoras.

En la siguiente ilustración se puede observar el principio de funcionamiento del codo de escape y el elemento que irá instalado en el sistema de la embarcación respectivamente.

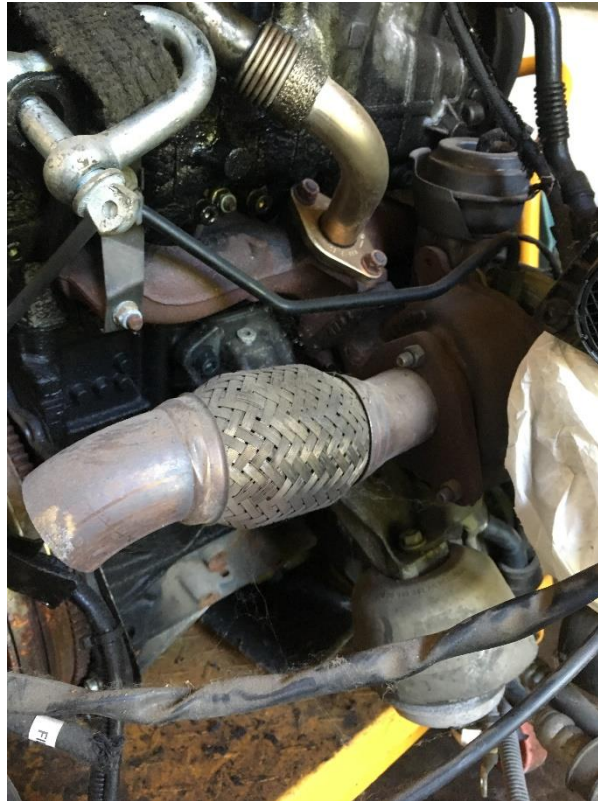


34. Codo de escape.
Fuente: Principio funcionamiento codo escape (en línea)



35. Codo de escape VOLVO PENTA.
Fuente: Catálogo Volvo Penta.

En la siguiente ilustración se muestra la disposición del sistema turbocompresor en el motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.



*36. Turbocompresor motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.
Fuente propia.*

El elemento de la derecha es el turbocompresor, está unido a una parte del colector del sistema de escape del vehículo donde estaba instalado. Este elemento sería sustituido por el cuello de cisne donde los gases serán recirculados hacia el codo de escape donde se generará la mezcla antes de dirigirse hacia el colector de la cola propulsora.

El turbocompresor, al estar instalado en la parte media del motor, se debe incorporar el cuello de cisne de manera que eleve el punto de inyección de la mezcla. Por lo tanto, se debe instalar de manera que se produzca al final del cuello de cisne para evitar así la entrada de agua en el turbocompresor cuando el motor este parado. La altura mínima donde se debe instalar para que sea efectiva su función, debe ser de un mínimo de 45 cm y un máximo de 150 cm de la línea de flotación.



El cuello de cisne debe situarse lo más cerca posible del codo de escape para optimizar la evacuación de la mezcla. Como más cerca se encuentren estos elementos, más rápido será el proceso y más seguro será el sistema por la posible entrada de la mezcla dentro del motor.

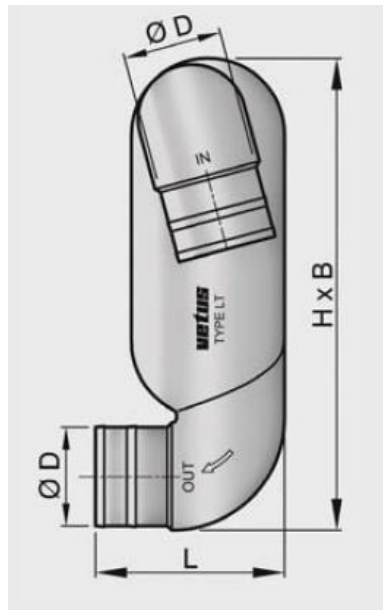
El codo estará situado a la entrada del colector de escape de la cola propulsora y al final del cuello de cisne. La mezcla circulara hacia el orificio de salida de la aleta de la cola donde los gases de escape serán evacuados.

El sistema de escape diseñado no se podría considerar del todo de escape húmedo, ya que no dispone de colector de escape donde se produzca la mezcla, ni tampoco seco, porque los gases son mezclados con el agua de mar proveniente del intercambiador de calor del líquido refrigerante del motor y son expulsados al mar. Por lo tanto, se podría decir que es un sistema de escape semi-seco o semi-húmedo.

5.2.1 Elección de los elementos que configuran el sistema de escape de la embarcación.

El cuello de cisne elegido es del fabricante VETUS, concretamente, el LT9090 apto para motores de hasta 120 CV. Tiene un diámetro interior de 90mm, lo cual facilitará su instalación en el circuito ya que la salida del turbocompresor y la entrada del codo de escape tienen un diámetro de 90mm y así se utiliza el mismo diámetro de tubo de goma en todo el sistema.

El elemento elegido se muestra en la siguiente imagen:

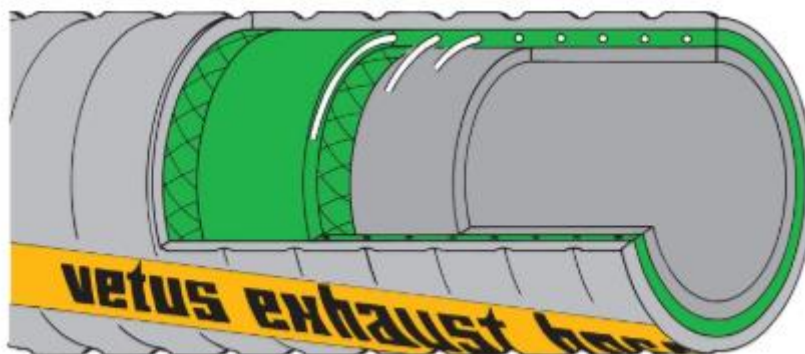


37. Cuello de cisne tipo LT90 VETUS
Fuente: Catálogo del fabricante VETUS

Dimensiones cuello de cisne / silenciador					
Tipo	D	H	B	L	Peso
LT 90	90	525	300	210	2,3 kg

Tabla 13. Dimensiones cuello de cisne/ silenciador LT90

Para la conexión entre los distintos elementos es necesario un tubo de goma especial que soporte las temperaturas de la mezcla entre los gases de escape y el agua salada de refrigeración. El tubo elegido es del mismo fabricante VETUS, el SLANG 90.



38. Tubo de goma de escape
Fuente: Catálogo VETUS



Dimensiones tubo de goma					
Tipo	Ø (int)	Ø(ext)	Peso	Presión de trabajo	Radio de curvatura
SLANG 90	90 mm	98 mm	1,9 kg/m	2 bar	135 mm

Tabla 14. Dimensiones tubo de goma instalación sistema de escape.

Los elementos que forman el sistema de escape son los siguientes:

- Colector de escape.
- Silenciador.
- Tubos de goma de escape.
- Cuello de cisne.
- Salida casco escape

. *Los planos de distribución como del sistema de escape, se pueden encontrar en los anexos.



5.3 Sistema de refrigeración.

La adaptación del sistema de refrigeración consiste en modificarlo con el fin de que, en vez de emplear aire en el intercambio de calor como medio refrigerante, sea el agua el elemento intermediario. Por lo tanto, se sustituye el sistema indirecto de refrigeración aire-líquido por un sistema de refrigeración indirecto de líquido-líquido. Como se ha visto en el análisis de los apartados anteriores del sistema de refrigeración del motor original, los principales elementos que realizan el intercambio de calor son los siguientes:

- Radiador de aceite del motor
- Radiador del líquido refrigerante
- Radiador de aceite de la caja de cambios
- Radiador sistema EGR

El radiador de aceite es el único elemento que su función se basa en el enfriamiento del aceite mediante el líquido refrigerante del motor. Por lo tanto, al ya estar integrado en el sistema no se debe modificar y se puede aprovechar el sistema original.

Para que la refrigeración se realice mediante el agua de mar, se debe substituir el radiador por un sistema de enfriamiento formado por un intercooler líquido-líquido, que mediante el agua salada refrigere el líquido proveniente del motor y de los demás elementos. Tendrá la función de disipar el calor acumulado en el líquido y así disminuir la temperatura hasta alcanzar la óptima de funcionamiento del motor. Es necesario instalar una bomba de agua salada y una toma de agua de mar que provee el nuevo sistema de enfriamiento con el caudal necesario para reducir la temperatura del líquido refrigerante del motor.

El radiador de aceite de la caja de cambios se desinstala del sistema. La cola del motor de la embarcación incluye los engranajes de las dos marchas necesarias, marcha delante y marcha atrás, y no se necesita la caja de cambios original, por lo tanto, se debe realizar su desinstalación y el radiador no es necesario.



Como se menciona en el apartado anterior, se desinstala el sistema de recirculación de los gases de escape, con el fin de mejorar el rendimiento de la operación del motor. Por lo tanto, el radiador del sistema EGR del motor también se desinstala.

El sistema de refrigeración del motor Volkswagen, también incluye otros elementos que intervienen indirectamente en la disipación del calor generado por la combustión. Son los siguientes:

- Intercambiador de calor del sistema de calefacción
- Calefactor adicional de calefacción

Estos dos elementos serán desinstalados, ya que en la embarcación no se dispone de un sistema de calefacción. Sería interesante incluir este sistema para mejorar la acomodación del habitáculo de la embarcación, no obstante, no es objeto de estudio en el presente proyecto y por lo tanto se eliminan estos dos elementos.

El motor a instalar, consta del sistema de admisión por turbocompresor. Al comprimir el aire, se aumenta la presión y por ende su temperatura, por lo tanto, es necesario instalar un intercooler aire-líquido que refrigere el aire antes de ser aspirado por el motor para aumentar el rendimiento de la combustión y disminuir la generación de emisiones contaminantes.

Recopilando la información anterior y el análisis del sistema de refrigeración del motor original, los elementos que formarán el nuevo sistema son los siguientes:

- Intercooler líquido-líquido del agua dulce refrigerante.
- Intercooler líquido- aire del turbocompresor.
- Bomba de agua de mar.
- Toma de mar.
- Válvula termostato bypass.
- Bomba líquido refrigerante.
- Tanque de expansión.
- Radiador de aceite motor.

Los elementos a excluir del sistema de refrigeración original del motor son los siguientes:



- Radiador sistema EGR.
- Intercambiador de calor del sistema de calefacción.
- Radiador aceite de caja de cambios.
- Calefactor adicional del sistema de calefacción.
- Radiador y ventiladores.

5.3.1 Modificación y disposición de los elementos del sistema de refrigeración:

Una vez establecidos los elementos que se excluyen y los que se aprovechan del sistema original del motor, se definen dos circuitos, el circuito cerrado de agua dulce y el circuito abierto de agua salada. Los elementos de los dos sistemas forman el conjunto del sistema de refrigeración del motor Volkswagen 1.9 115 TDI ATJ marinizado.

5.3.1.1 Circuito cerrado del sistema de refrigeración:

El sistema cerrado de refrigeración del motor, tiene la función de refrigerar el bloque motor y el radiador de aceite lubricante, ya que se han prescindido de los otros elementos del sistema original. Se conduce el líquido refrigerante hacia los elementos mencionados con el fin de absorber el calor y reducir la temperatura para su correcto funcionamiento.

La modificación de este sistema consiste en adaptar la entrada y salida del líquido refrigerante al intercambiador de calor donde, a través del contacto indirecto con el agua de mar, se reducirá la temperatura y será reenviada a la bomba, donde lo recirculará de nuevo al circuito refrigerante. Por lo tanto, los elementos que lo forman no se deben modificar, no obstante, se desarrolla el estudio de su función y disposición en el circuito. Son los siguientes elementos:

- Válvula termostato.

El termostato controla la circulación del líquido refrigerante del bloque motor hacía, en este caso, al intercooler o de vuelta a este elemento, dependiendo de



la temperatura del líquido. Cuando el motor empieza su ciclo de combustión en frío, necesita un tiempo para llegar a la temperatura de óptimo funcionamiento. Este elemento se incorpora para regular el calentamiento del motor, ya que, si el líquido refrigerante circulara directamente hacia el intercambiador de calor, se tardaría mucho hasta llegar a la temperatura optima funcional. Por lo tanto, se incorpora un termostato con una válvula bypass controlada mecánicamente por una membrana de cera que, al llegar a una temperatura por encima de los 80°C se dilata y desplaza el embolo para abrir el paso del líquido hacia el intercooler. Este elemento no se modifica y se dispone en la salida de la culata del motor.

- Temperatura de comienzo de apertura: 87 °C
- Temperatura de fin de apertura: 102 °C

- Tanque de expansión.

Este elemento se instala para evitar que se produzcan burbujas de aire dentro del circuito de refrigeración, las cuales son generadas por la dilatación y contracción del líquido refrigerante, por lo tanto, la función de este elemento consiste en estabilizar la presión del circuito manteniéndola constante. Esta dispuesto por encima de la culata del motor, ya que es necesario que este en un punto elevado para su correcto funcionamiento.

- Presión del sistema: 1,7 bar
- Presión de ruptura: 10 bar



39. Vaso de expansión motor VW 1.9 TDI 115 ATJ.
Fuente propia.

- Radiador aceite motor.

El aceite lubricante del motor se refrigera en el radiador de aceite a través del intercambio de calor entre el aceite y el líquido refrigerante. Este sistema está instalado en paralelo al circuito de la refrigeración del bloque motor. Se aprovecha el mismo circuito original, por lo que solo se debe adaptar la entrada del líquido refrigerante en el intercooler.



40. Radiador de aceite del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ
Fuente propia.

- Bomba de líquido refrigerante.

Este elemento cumple con la función de impulsar el fluido proveniente del intercooler y del depósito del líquido refrigerante hacia los elementos del circuito de refrigeración, manteniendo un caudal constante. Este elemento se dispone junto al bloque motor y será accionado mediante el eje del cigüeñal. No es necesario subsistir este elemento y por lo tanto se mantiene el original.

5.3.1.2 Circuito abierto del sistema de refrigeración.

La correcta refrigeración de la operación del motor, depende del intercambio de calor del líquido refrigerante con el exterior. En el sistema de refrigeración original del motor terrestre VW 1.9 115 TDI ATJ, se emplea el radiador como elemento de enfriamiento del sistema, que intercambia el calor del líquido refrigerante de forma indirecta mediante la convección con el aire. En el medio marino se dispone de agua de mar para realizar este cometido, lo cual se conseguirá una refrigeración más eficaz.



Hay tres métodos que se emplean para los motores marinos diésel refrigerados por agua:

- La refrigeración directa de los cilindros y culatas empleando el agua del mar. Este sistema no es viable, ya que la corrosión acabaría destruyendo todo el bloque motor.
- El enfriamiento por la quilla. Esta configuración es funcional en embarcaciones pequeñas que operan en aguas de poca profundidad, no obstante, la necesidad de tuberías externas al casco impone una limitación en la movilidad de la embarcación.
- La refrigeración mediante intercambiadores de calor. Este sistema es el método más común utilizado en embarcaciones. El agua de mar enfría el líquido refrigerante del motor a través del intercambiador de calor liquido-liquido. El objetivo de su diseño es resistir el efecto corrosivo.

El sistema de refrigeración del motor VW 1.9 115 TDI ATJ marinizado, será de refrigeración indirecta, utilizando un intercambiador de calor liquido-liquido por agua de mar. Al ser un motor turbo, también se dispone de un intercambiador de calor para el turbocompresor.

En los motores marinos que van destinados en las embarcaciones de recreo de esloras pequeñas, como es el caso de la embarcación de este proyecto, se dispone relativamente de poco espacio en la bancada del motor, y el calor producido del bloque motor durante la combustión, puede llegar a ser un problema. Al no haber espacio suficiente por instalar un intercambiador de calor de los colectores de escape, se protegerán con un tejido térmico para asegurar que la radiación de calor no llegue a ser un inconveniente.

Por lo tanto, el circuito abierto de refrigeración incluye los siguientes elementos:

- Intercambiador de calor del líquido refrigerante del motor.
- Intercambiador de calor del turbocompresor.



- Bomba de agua salada.
- Toma de agua de mar.

5.3.2 Elección del equipo del circuito abierto del sistema de refrigeración.

Se elige el equipo refrigerante del fabricante Bowman para el diseño del nuevo circuito de refrigeración de agua salada, el cual ofrece intercambiadores de calor estandarizados y certificados por la norma ISO:2008 para motores marinos.

Se eligen los elementos en función de las especificaciones de potencia del equipo propulsor y de las dimensiones de la bancada del motor de la embarcación. Estos elementos están diseñados de manera que formen un bloque compacto y así aprovechar al máximo el espacio disponible en la bancada.

Los intercambiadores de calor elegidos están formados por un haz de tubos flotante que reduce al mínimo las tensiones térmicas durante la operación de refrigeración y ofrece un desmontaje sencillo para su limpieza y mantenimiento. Incorporan un tanque elevado que impide la acumulación de aire en el circuito de manera que el sistema expulse el aire por sí mismo al efectuar el llenado inicial, por lo tanto, no será necesario un vaso de expansión para este sistema ya que estos elementos cumplen con la misma función.

La disposición de los elementos del circuito del agua de mar es en serie, es decir, los intercambiadores de calor del motor y turbocompresor se instalan entre el motor y el mamparo de la bancada de proa. La bomba de agua salada se instala al lado donde se disponía el sistema de calefacción del vehículo. De este modo se puede aprovechar la correa de transmisión de este sistema para activar la bomba de agua salada.

En la siguiente imagen se muestra su ubicación:



*41. Correa de funcionamiento de la bomba de agua salada
Fuente propia.*

El intercambiador de calor del aire de admisión del turbocompresor, es el primer elemento que recibe el agua de mar, ya que el aire se debe mantener a una temperatura de alrededor de los 20 °C y por lo tanto es necesario que se provee este elemento del agua con la temperatura más baja posible. El agua saldrá del intercambiador de calor con la conexión hacia arriba para asegurar que el haz tubular este siempre lleno.

Una vez enfriado el aire de admisión del motor, el agua de mar habrá aumentado un poco su temperatura. La cual será dirigida hacia el siguiente intercambiador de calor donde se enfriará el líquido refrigerante del motor. Este elemento será instalado en serie al intercooler del turbocompresor.

Una vez el agua de mar haya cumplido con su función, será dirigida hacia el codo de escape donde se mezclará con los gases de escape y así ser expulsada hacia el mar a través de la cola propulsora.

En las siguientes imágenes se pueden observar los tubos de entrada y salida de los elementos del sistema de refrigeración de motor a los intercambiadores de calor:



44. Entrada del aire comprimido del turbocompresor al intercooler.
Fuente propia



43. Salida del intercooler del aire de admisión.
Fuente propia



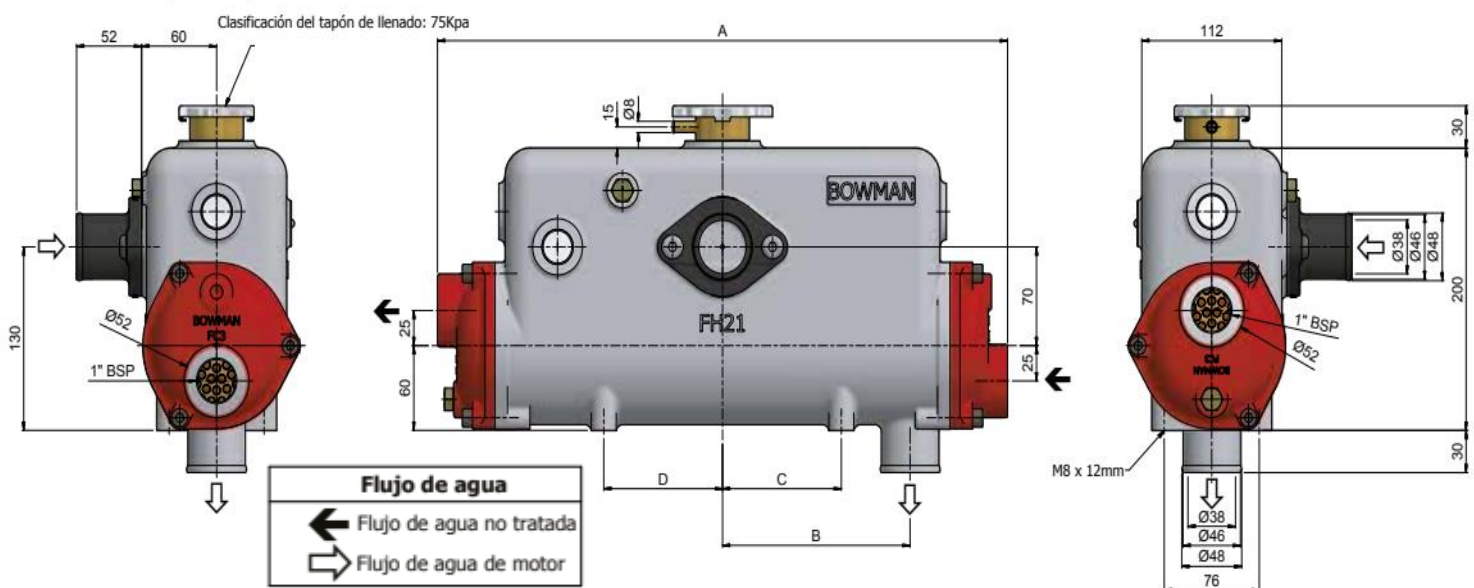
42. Salida del agua refrigerante del motor (tubo superior) /entrada liquido refrigerante (tubo inferior), del intercooler.
Fuente propia.

A continuación, se eligen los elementos que forman el circuito cerrado del sistema de refrigeración, elegidos según las especificaciones del motor y bancada.

5.3.2.1 Intercambiador de calor del líquido refrigerante del motor.

Intercambiador de calor Bowman normalizado						
Tipo	Volumen agua salada (l)	Volumen agua del motor (l)	Capacidad deposito colector (l)	Presión máx. funcionamiento agua salada (bar)	Presión máx. funcionamiento agua motor (bar)	Para potencias motor (CV)
FH100-3182-3	0,85	3,25	2,08	16	1	120

Tabla 15. Intercambiador de calor liquido refrigerante Bowman.



45. Intercambiador de calor liquido refrigerante.

Fuente: Catálogo Bowman

Dimensiones intercambiador de calor Bowman normalizado (mm)				
A	B	C	D	Peso(kg)
358	100	45	95	8

Tabla 16. Dimensiones intercambiador de calor liquido de refrigerante.

Instalación:

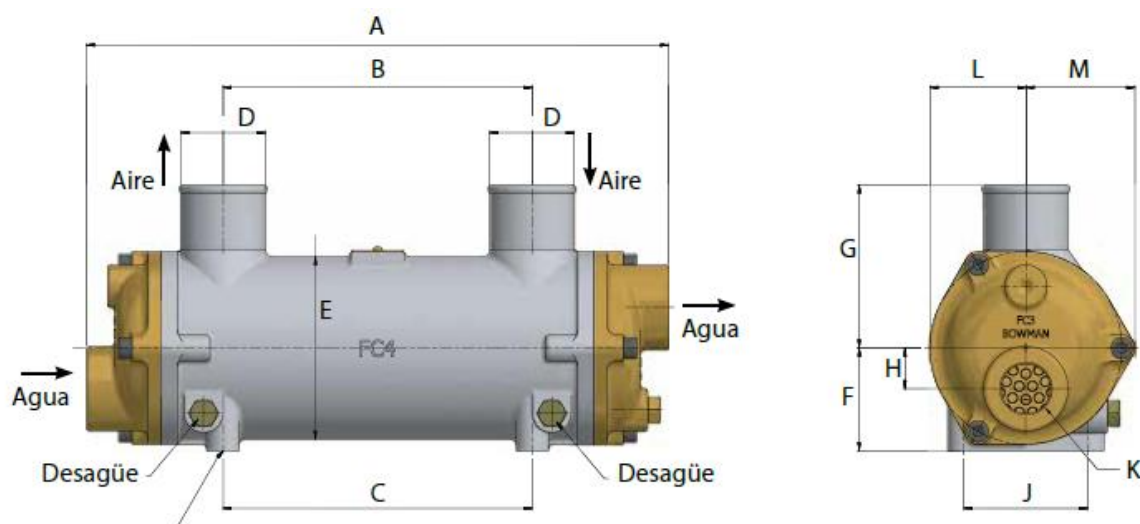
Para un correcto funcionamiento el intercambiador de calor con depósito colector, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Instalarse siempre por encima del nivel de la culata del motor.
2. Asegurar que el termostato bypass este instalado de manera que solo dirija el agua del motor al intercambiador cuando el motor este en caliente.
3. Asegurarse de que el resto de componentes de refrigeración están colocados en el circuito de manera que reciban todo el caudal de refrigerante de la bomba de agua de los motores.

5.3.2.2 Intercambiador de calor del turbocompresor.

Intercambiador de calor del turbocompresor Bowman				
Tipo	Caudal aire de admisión (kg/min)	Caudal de agua de mar (lit/min)	Disipación de calor (kW)	Hasta potencias motor (CV)
FC100-4075-2	4,3	50	11,2	120

Tabla 17. Intercambiador de calor turbocompresor Bowman



46. Intercambiador de calor turbocompresor Bowman.
Fuente: Catálogo Bowman

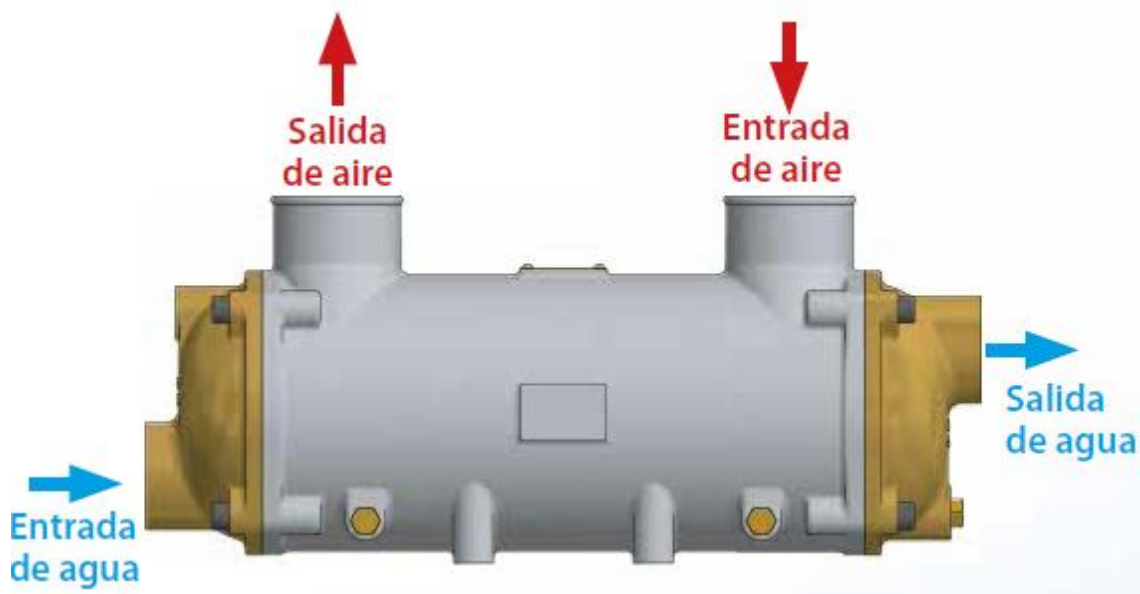
Dimensiones del intercambiador de calor turbocompresor Bowman (mm)												
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	Peso (kg)
358	190	190	52	112	63	100	25	76	60	82	150	7

Tabla 18. Dimensiones intercambiador de calor turbocompresor Bowman.

Instalación:

Para un correcto funcionamiento del intercambiador de calor del turbocompresor, se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Se debe instalar de manera que la salida de agua se encuentre siempre en la parte más alta. (véase la siguiente ilustración)
2. Instalarse como primer elemento que recibe el caudal de la bomba de agua de mar.



47. Instalación intercambiador de calor turbocompresor Bowman.
Fuente: Catálogo Bowman

5.3.2.3 Bomba de agua salada

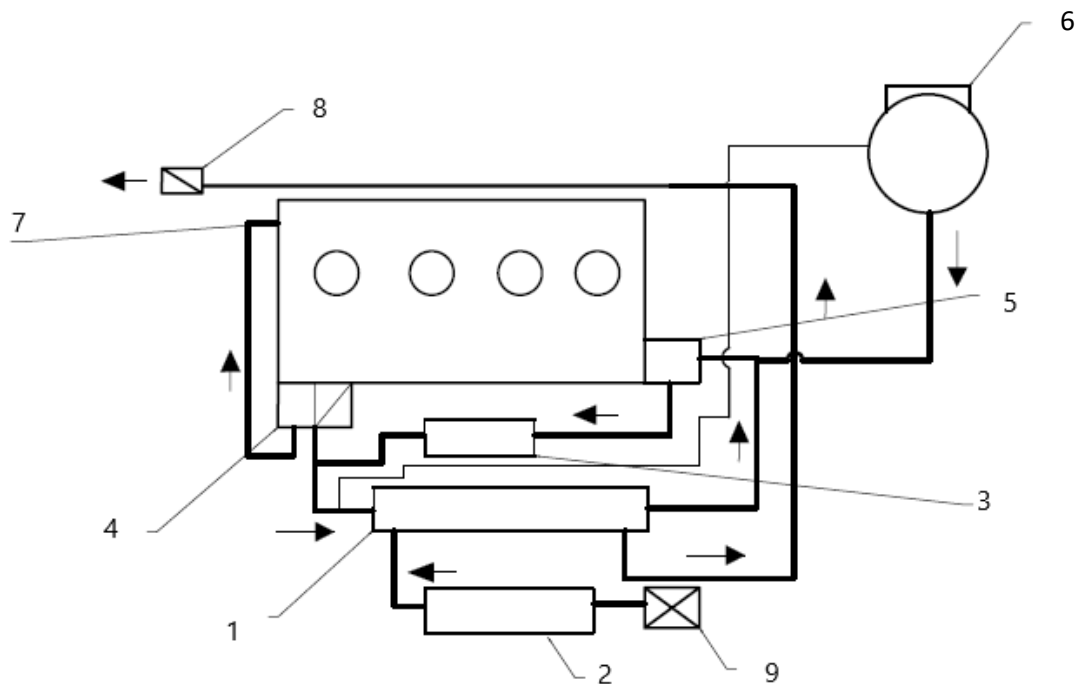
Se elige una bomba de agua de mar con una capacidad de caudal de 50 l/min. Se elige la Volvo AQAD31A que abastecerá al circuito con el caudal suficiente. Se acciona a través de la correa del sistema de calefacción del motor original Volkswagen.

En la siguiente imagen se puede observar la bomba de agua salada:



*48. Bomba de agua salada Volvo Penta
Fuente: Marine parts Europe Volvo (en línea)*

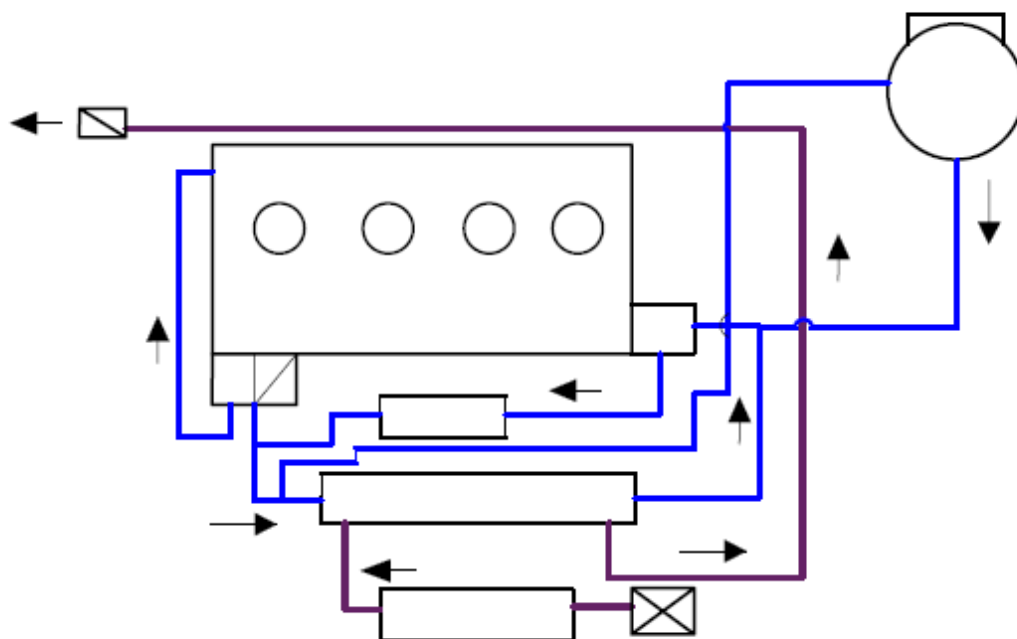
5.3.3 Esquema del circuito de refrigeración del sistema de refrigeración.



49. Esquema del circuito de refrigeración modificado.
Fuente propia.

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	
1. Intercambiador de calor liquido refrigerante	2. Intercambiador de calor turbocompresor
3. Radiador de aceite	4. Termostato válvula bypass
5. Bomba agua dulce motor	6. Tanque de expansión
7. Bloque motor	8. Salida codo de escape
9. Bomba agua salada	

19. Elementos del sistema de refrigeración modificado.



50. Circulación agua del circuito de refrigeración modificado.
Fuente propia

Circuito azul	Agua dulce
Circuito lila	Agua salada

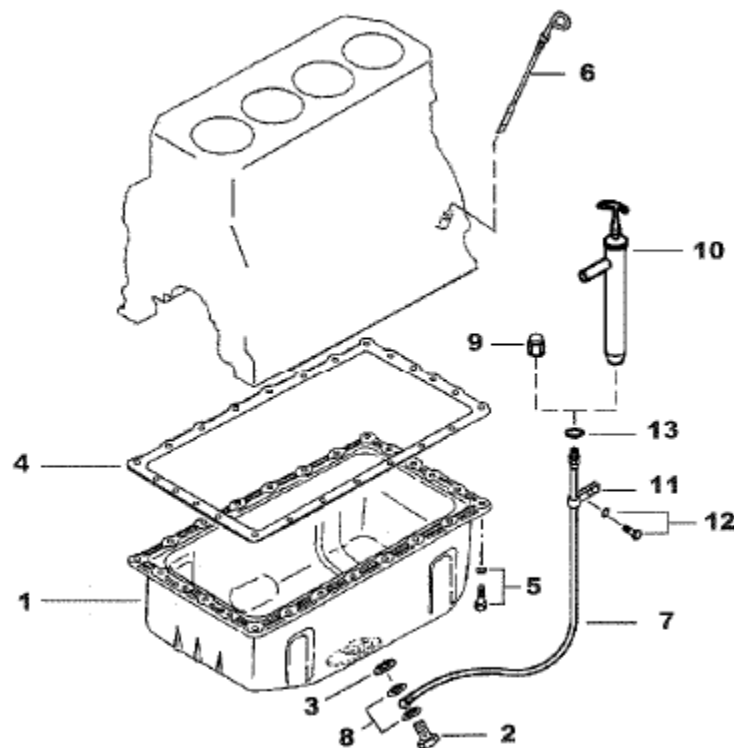
*Los planos de distribución del sistema de refrigeración, se pueden encontrar en los anexos.

5.4 Sistema de lubricación.

El sistema de lubricación del motor Volkswagen 1.9 TDI ATJ no se ve afectado por la marinización del motor, por lo tanto, no se debe modificar. No obstante, se debe tener en cuenta que la instalación del motor en la bancada puede dificultar la disposición del tapón de vaciado del aceite del cárter cuando se tenga que realizar el mantenimiento del motor.

Para facilitar esta tarea la solución es la instalación de un tubo conectado al tapón de vaciado a través de un tornillo hueco racor para extraer el aceite por el otro extremo mediante una bomba de vaciado.

En la siguiente imagen se indica la instalación de este sistema:



51. Instalación tapón de vaciado del cárter motor.
Fuente: Catalogo motor Mini-2 Sole Diésel.



El sistema original, incorpora un sensor de presión y temperatura de aceite, que indica a la ECU del motor el estado del fluido. Este sistema de seguridad sirve para indicar que el motor tiene una adecuada temperatura y presión de aceite durante su funcionamiento, si no fuera así, en el cuadro de la embarcación, en este caso la pantalla interactiva de la Tablet, se encendería el avisador de aceite del motor, y se debería para inmediatamente ya que podría ocasionar una avería por falta de presión de aceite.

Las características del sistema de lubricación del motor marinizado son las siguientes:

- Presión de aceite a 80°C
 - Al ralentí: 1 bar mínimo
 - A 2000 rpm 2 bar mínimo
- Tarado de la válvula de descarga
- Capacidad del aceite motor (cárter + filtro): 4,5 litros
- Consumo admisible: 1 litro /1000 km

5.5 Sistema de admisión / Sistema turbocompresor.

Se deben tener en cuenta las características del nuevo ámbito de trabajo del motor para adaptar el sistema de admisión en la embarcación. No se debe realizar ninguna modificación del sistema original, pero si, se debe adecuar al cambio de condiciones.

La bancada del motor donde irá instalado, dispone de una rejilla de aspiración y una rejilla de extracción, que conectan con el exterior para que la cantidad de aire sea ilimitada. Este sistema de recirculación asegura una correcta refrigeración del compartimiento con el fin de extraer el calor radiado durante la operación del motor.

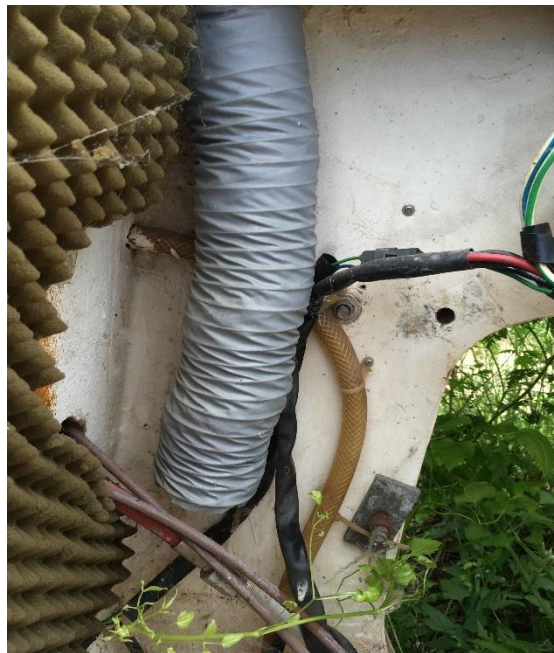
Las rejillas de aspiración y extracción deben estar orientadas según su funcionamiento. Por un lado, las paletas de la rejilla de aspiración están orientadas hacia proa, con esta disposición se favorece la entrada de aire cuando la embarcación este navegando. Por otro lado, las paletas de la rejilla de extracción están orientadas hacia popa para una correcta evacuación del calor radiado en la bancada del motor y de los posibles humos generados. En las siguientes imágenes se puede apreciar su disposición:



53. Rejilla del aire de aspiración del motor
Fuente propia



52. Rejilla de extracción del aire de la bancada del motor
Fuente: propia



55. Tubo de aspiración del aire del motor.
Fuente propia



54. Orificio de evacuación del aire de la bancada del motor
Fuente propia

Al tener dos orificios que dan al exterior, se debe dar importancia al tratamiento del aire para evitar que las partículas sólidas que pueda contener se introduzcan dentro del sistema. Se opta por la instalación de un pre-filtro para asegurar que el motor aspire el



aire que aspira el motor este limpio de impurezas. El sistema también incorpora el filtro de aire original SSP 153, donde este instalado el medidor de caudal de aire (MAF) que informará a la ECU del motor el volumen de aire aspirado.

En el sistema del turbocompresor Garret VNT15, se sustituye el sistema de enfriamiento del aire comprimido por un intercambiador de calor aire-liquido como se indica en el apartado de la modificación del sistema de refrigeración.

**Los planos de distribución como del sistema de admisión, se pueden encontrar en los anexos.*

5.6 Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico es de los más importantes del motor, ya que de él depende la conexión de los elementos de control de los demás sistemas auxiliares. También cumple con la función de alimentar los diferentes equipos eléctricos que incorpora la embarcación, como: la bomba de achique, la radio, las luces de la embarcación y del sistema de arranque del motor.

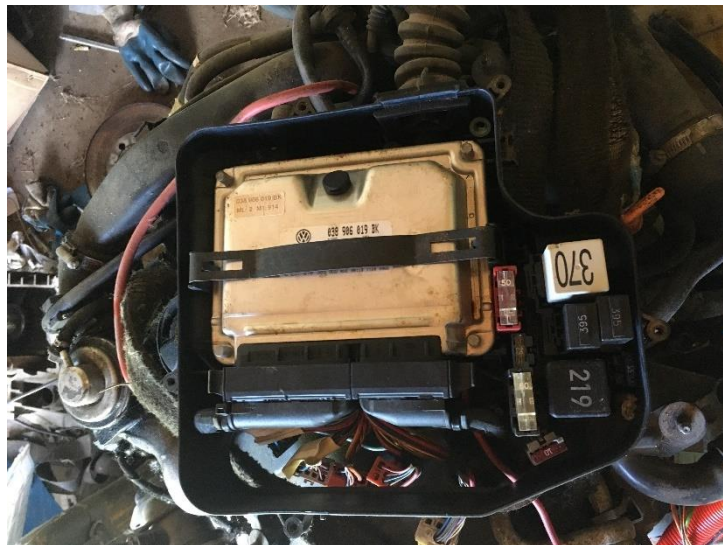
La instalación del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ en la embarcación, significa un aumento de los sistemas electrónicos que incorporará. Se ofrecen más datos provenientes de la lectura de los sensores instalados en los diferentes sistemas auxiliares, por lo que se debe tener en cuenta en el diseño del nuevo sistema.

El motor original tiene como equipo eléctrico el alternador, el motor de arranque, los sensores y la ECU del motor. Todos estos elementos se aprovecharán ya que son válidos para su uso en la embarcación.

En las siguientes imágenes se pueden observar el sistema eléctrico simplificado y la ECU del motor, respectivamente:



*56. Sistema eléctrico del motor VW 1.9 115 TDI ATJ
Fuente propia*



57. ECU del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ.
Fuente propia.

5.6.1 Modificación del sistema eléctrico

El sistema eléctrico de la embarcación es de 12 V. Las fuentes de alimentación que incorpora son, la batería y el alternador de 120 Ah. La batería es la fuente principal y única que alimenta el sistema y a todos los elementos eléctricos. El alternador es el encargado de mantener las baterías cargadas mientras el motor está en funcionamiento, también es de 12 V.

En el sistema eléctrico del motor y la embarcación, se instalan dos baterías marinas en paralelo de doble uso. De este modo se asegura que siempre se tenga electricidad para encender el motor. La idea es que las dos baterías sirvan para alimentar todo el sistema, pero si no es necesario, solo se tendrá una conectada. De este modo, en el caso de dejarse encendidas las luces, la radio y otros equipos eléctricos, hecho que provocaría que la batería se descargara, se tendría la otra como seguridad para poder encender el motor y así recargar las dos.

Se instalará un sistema de control teniendo un interruptor por batería. Cuando se pare el motor se desconectará una, de modo que la otra serviría para el uso a bordo de los

distintos equipos. Cuando el motor se encienda se conectará la batería desconectada y de esta manera se mantendrá su carga. Como se puede observar en las siguientes imágenes, la propia embarcación dispone de los dos compartimientos con fácil acceso al interruptor:



*58. Compartimiento baterías. (uno a cada lado)
Fuente propia.*

5.6.1.1 Elección de las baterías

Se eligen dos baterías marinas de doble uso para alimentar el sistema eléctrico de arranque del motor y los equipos eléctricos de servicio de la embarcación como son la bomba de achique, las luces de navegación, la interface del equipo de instrumentación, el equipo GPS, sondas y otros dispositivos eléctricos que se podrían instalar en la embarcación. Las baterías de doble uso tienen una capacidad de un 20 % mayor que las de ciclo profundo, consiguiendo así, la corriente instantánea necesaria para que el motor de arranque cumpla su función.

Otro dato importante a tener en cuenta para la elección de la batería, son los Amperios-hora (Ah). Esta medición representa la cantidad de corriente que puede entregar la

batería en un periodo de tiempo. Así, por ejemplo, si una batería puede entregar 3 amperios durante 20 horas, será una batería de $3 \times 20 = 60$ AH (AH=amperio*hora)

No obstante, las baterías no se descargan en su totalidad, una descarga superior al 40% puede suponer que la batería no pueda volverse a recargar y se tendría que subsistir. Así pues, si se considera que no se puede descargar más del 40%, para tener 3Ah durante 20 h (batería de 60 AH), se necesita una batería de 150 Ah ya que el 40% de descarga de 150Ah serían los 60Ah.

Se realiza la elección de la siguiente batería:



*59. Batería SeaVolt de doble uso
Fuente: Catálogo SeaVolt*

Características:

- Batería de doble uso (arranque y servicio) de MCA = 650A, 65Ah
- Fabricante: SeaVolt
- Modelo: Dual propose 650
- Tensión: 12V
- Capacidad de reserva: 120 min (suminiistrando 25 A)
- Peso: 17,7 Kg

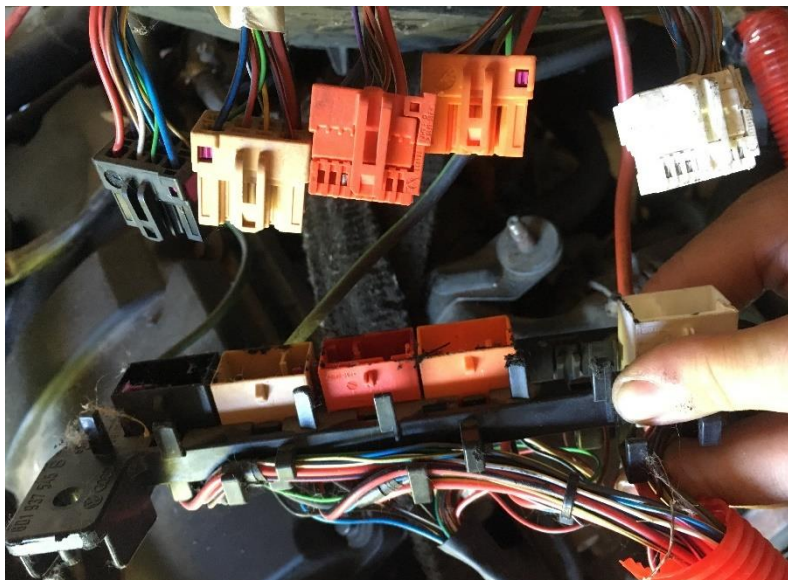
5.6.2 Sistema electrónico

Respecto al sistema electrónico, el motor ya incorpora todos los sensores de temperatura y presión necesarios para realizar la lectura de los datos del motor, con el fin de establecer el control de sus sistemas a través de la ECU (centralita). Por lo tanto, no se deben realizar modificaciones en este aspecto, pero si la comprobación de su estado.

La principal modificación de esta parte del sistema, es la interface entre los datos ofrecidos por la ECU y el panel de instrumentos del motor. El cuadro de instrumentos de la embarcación no está adaptado a la lectura de estos datos y en vez de realizar la instalación de un cuadro de instrumentos moderno que ofrezca esta función, que resultaría de un coste económico elevado, se procede a la instalación de un dispositivo capaz de ofrecer la lectura de los datos de la ECU del motor a través de la conexión vía bluetooth con un dispositivo Android.

La centralita del motor Volkswagen integra una interfaz de diagnóstico llamada OBDII, mediante la cual es posible monitorizar y administrar los parámetros sensoriales del motor, así como analizar las distintas averías del mismo.

En la siguiente imagen se muestran las conexiones que ofrece la ECU del motor:



*60. Conexiones ECU motor VW 1.9 TDI 115 ATJ
Fuente propia.*



Los componentes del sistema OBDII son:

- La ECU (Engine Control Unit).
- Los transductores o sensores encargados de enviar los datos hacia la unidad de control.
- La luz indicadora de fallos ubicada en el tablero.
- El conector de diagnóstico (DLC).

Una vez conocidos los sistemas con los que se puede adaptar la lectura de los parámetros del motor, es importante saber con qué elementos es compatible para proceder con una correcta conexión de la interface.

La idea principal es complementar el tablero de instrumentos de la embarcación con una Tablet que sea capaz de mostrar los principales parámetros del motor y que se puedan controlar a través de este elemento. La conexión Tablet - OBDII se realiza vía bluetooth, conectando un adaptador en el conector de diagnosis del motor, y a través de una aplicación instalada en la Tablet, permitirá la lectura de los datos y el control de los parámetros del motor.

La Tablet siempre se conectará directamente con la batería y con el fin de disponer siempre de corriente. Se mantendrá el marcador de revoluciones y velocidad, y el chivato del depósito del carburante por si fallara la interface Tablet-OBDII.

Otro punto importante a tener en cuenta es la compatibilidad entre los dispositivos para poder conectar la interface. El sistema OBDII del motor, sigue el protocolo ISO 9141-2, por lo tanto, se debe conectar un adaptador que sea compatible con este protocolo.

Existen muchos adaptadores bluetooth para el sistema OBDII que ofrecen diferentes características. Lo interesante para la embarcación es que ofrezca la lectura de los principales datos del motor y además que incorpore un localizador GPS para saber siempre la ubicación de la embarcación en el mar y complementarlo con una aplicación de cartas náuticas para navegar siempre de forma segura y planificada.

El elemento elegido para realizar la interface, es el Mini ELM327, compatible con sistemas operativos Android, iOS i Windows, de forma que se puede instalar cualquiera

de las Tablet que ofrecen los distintos fabricantes. Algunos de los parámetros que ofrece el adaptador son las siguientes:

- RPM del motor.
- Valor del par motor.
- Temperatura del refrigerante.
- Temperatura del aire de admisión.
- Tasa de flujo de aire.
- Estado del sistema de combustible.
- Velocidad.
- Consumo combustible.
- Estado batería.

En la siguiente imagen se muestra el dispositivo elegido.



*61. Interface ELM 327
Fuente: Catálogo ELM*

Una vez conectado este dispositivo, se debe establecer la conexión con la Tablet. El sistema operativo es Android, lo cual se debe instalar una aplicación compatible y configurarlo para que ofrezca la lectura de los datos necesarios para la navegación, convirtiendo el dispositivo Android en un centro de diagnosis del motor.

La aplicación elegida es la Torque Pro, compatible con el sistema operativo Android y el dispositivo ELM327. Esta aplicación permite el control del consumo del motor, las emisiones de CO₂, reportes de fallos detectados en el motor (adelantándonos incluso a la avería en cuestión), en definitiva, todo un completo centro de diagnóstico y de alto rendimiento.

La lectura de los datos mencionados anteriormente se mostrará en la pantalla del dispositivo Android de la forma en que se muestra en las siguientes imágenes:



62. Disposición cuadro instrumentos TorquePro (1/2)
Fuente: Manual de instalación TorquePro



63. Disposición cuadro instrumentos Torquepro (2/2)
Fuente: Manual de instalación TorquePro

5.6.3 Sistema de alarma del estado de cebado del agua refrigerante

Durante el funcionamiento del motor es importante conocer el estado de cebado del sistema de refrigeración antes de hacer funcionar el motor a regímenes más altos de potencia. Si por algún motivo el sistema de refrigeración de agua salada no funcionara, se podría ocasionar una grave avería en el motor.

En los motores fueraborda se puede observar que el motor se está refrigerando adecuadamente, cuando por un orificio situado en la cola, sale el agua salada de refrigeración. No obstante, en los motores intraborda se debe instalar un sistema de alarma que indique que el cebado del sistema de refrigeración.

Para este propósito se incorpora un pequeño depósito instalado en serie a la salida del intercambiador de calor del líquido refrigerante. Este depósito dispondrá de un sensor de nivel de agua y temperatura que conectado a un sistema de alarma sonora indicará mediante un sonido que el depósito está lleno de agua.

5.6.4 Sistema de gas electrónico.

Otro sistema que se debe adaptar, es el comando de gas electrónico del motor. Como se puede observar en la siguiente imagen, el pedal de gas del vehículo está instalado directamente al potenciómetro conectado a la ECU. Simplemente este sistema se podrá adaptar sustituyendo pedal de accionamiento del gas por los cables del mando acelerador



*64. Comando de gas electrónico.
Fuente propia*



5.7 Sistema de sujeción del motor a la bancada.

Una vez establecidas las adaptaciones convenientes en los distintos sistemas del motor, se procede a elegir las fijaciones que cumplen con la función de anclaje del motor a la bancada.

La sujeción del motor tiene el objetivo de absorber las vibraciones y los esfuerzos generados por el sistema propulsor, trasladarlos a la bancada y así conseguir una fijación del motor y todo el equipo instalado. Sin estos elementos sería imposible la instalación de motores intraborda en embarcaciones.

Para la correcta elección del sistema de fijación del motor, se debe tener en cuenta que la bancada del motor dispone de un espacio limitado, es por este motivo que se eligen los suspensores estandarizados ya dimensionados según el peso del motor y su potencia. Para este propósito es necesario conocer el peso total del motor y sus equipos.

5.7.1 Calculo del peso del motor marinizado

Durante el proceso de marinización del motor, se han instalado nuevos elementos para efectuar correctamente la adaptación de los diferentes sistemas auxiliares. Para obtener el peso total del bloque motor, se suma el peso de todos los equipos instalados en la periferia del bloque motor, también se suma el peso de los líquidos. Por lo tanto, teniendo en cuenta que el motor terrestre VW 1.9 TDI 115 ATJ tenía un peso de 136 Kg en seco, se suma de la siguiente forma:

Pesos líquidos			
	Densidad Kg/l	Capacidad (l)	Peso
Aceite motor	0,85	4,5	3,825
Líquido refrigerante	1,05325	5	5,26625



Desglose del peso total del motor y los equipos instalados:	
	Peso (Kg)
Motor VW 1.9 TDI 115 ATJ	136
Codo de escape	1
Cuello de cisne	2,6
Intercooler liquido refrigerante	8
Intercooler de calor turbocompresor	7
Alternador	6,5
Aceite motor	3,825
Liquido refrigerante	5,26625
Tubo de goma de escape	1,9
Peso total	172,09125

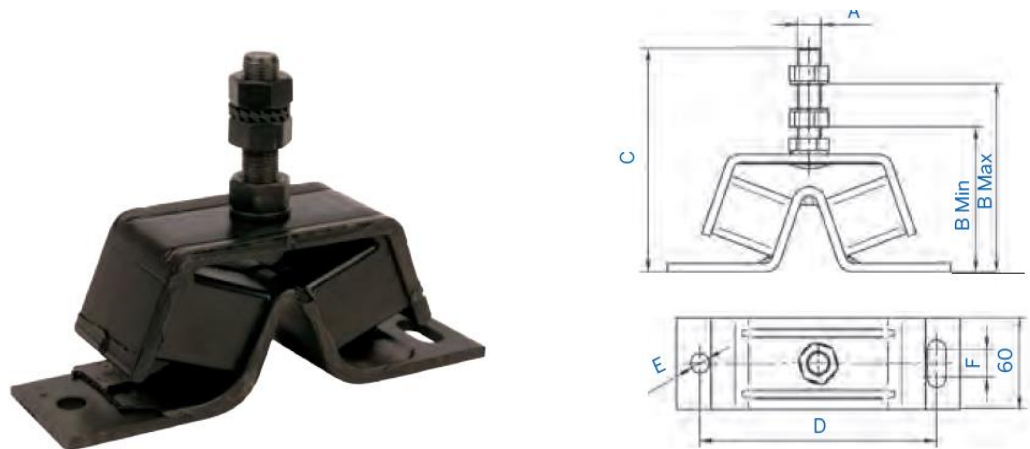
El total del peso del bloque motor y de los equipos instalados del sistema de refrigeración y los líquidos, suman un total de 172,09 Kg de peso. Para la elección de los soportes del motor se aplica un factor de seguridad de 1,2 en el total del peso. Se obtiene como resultado: **206,508 Kg**

5.7.2 Elección de las fijaciones del motor.

Se instalan 4 fijaciones para la sujeción del motor donde el peso será repartido en los 4 puntos distintos, de manera que cada elemento soporte el mismo peso. Por lo tanto, cada fijación debe soportar **51,627 Kg** de peso.

La empresa Solé Diesel ofrece un seguido de soportes flexibles, llamados Silenblocks, estandarizados según el peso y potencia del motor, capaces de absorber el empuje de la hélice y reducir las vibraciones producidas durante la operación propulsora, así como el ruido en la bancada.

Las fijaciones elegidas son las del TIPO E, que ofrecen las siguientes características:



65. Fijación SOLÉ DIÉSEL Tipo E
Fuente: Catalogo fijaciones Solé Diésel

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARGA	Dureza	A	B min.	B máx.	C	D	E	F
60 KG	60 Sh A	M16 x1,5	90 mm	105 mm	145 mm	75 mm	13 mm	18mm

Tabla 20. Características técnicas fijaciones Tipo E



5.8 Análisis de la instalación de la hélice.

La hélice es uno de los elementos unitarios más importantes en una embarcación, de su correcta elección dependerá conseguir un uso eficiente de combustible, ya que es el elemento encargado de convertir la potencia que produce el motor en el empuje necesario para mover la embarcación en el agua. Por este motivo, al cambiar las características de entrega de potencia del motor, se debe realizar el siguiente análisis para elegir la hélice adecuada para las nuevas prestaciones del equipo propulsor.

Se debe tener presente dos conceptos sobre la entrega de potencia del motor para no elegir una hélice demasiado grande ni demasiado pequeña:

- **Sobrecarga.** La elección de una hélice con demasiado paso o con demasiado diámetro, puede generar una sobrecarga del motor. Por consiguiente, se podría producir una avería importante, como por ejemplo el gripaje de la culata del cilindro, quemar válvulas, romper los aros del pistón o reducir la vida útil del motor. También se produciría un consumo de combustible innecesariamente alto ya que, en un motor diésel, es la carga y no la aceleración la que determina su consumo.
- **Subcarga.** La elección de una hélice de diámetro demasiado pequeño o de paso insuficiente, afecta directamente al rendimiento de la embarcación y produciría una subcarga del motor, es decir, la hélice no transmitirá la potencia acorde al régimen de r.p.m. del motor y no se llegaría a entregar la máxima potencia, por lo que podría ocasionar una avería si se acelerara por encima de las r.p.m. máximas especificadas. La subcarga del motor tiende ir acompañada de un consumo inadecuado de combustible y de la posible cavitación de la hélice al no estar capacitada para entregar la potencia máxima del motor.

La instalación del nuevo motor proporciona una máxima potencia a 4000 r.p.m. cuando el anterior la entregaba a 4800 r.p.m., por lo tanto, se han reducido 800 r.p.m. en la entrega de potencia máxima. También entrega un par motor superior, lo que supondrá una entrega mayor de potencia a bajas revoluciones y se llegará antes a la velocidad de



planeo, lo que equivale a un consumo inferior de combustible. Para este propósito se debe elegir el paso y diámetro adecuados.

La selección de la hélice dependerá de las características del motor instalado y del equipo propulsor, en este caso formado por cola propulsora. Presentan las siguientes características:

- Motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ:
 - Par motor máx.: 310 Nm
 - Potencia máx.: 115 CV
 - Potencia entrega par máx.: 4000 rpm
 - Potencia entrega potencia máx.: 1900 rpm
- Cola propulsora Volvo Penta 290 SP:
 - Relación de reducción: 2:15:1
 - Par máx.: 400 Nm
- Hélice instalada:
 - Diámetro: 34 cm
 - Paso: 17''
 - N.º de palas: 3

Un buen indicador para seleccionar el correcto paso de la hélice es el N.º de revoluciones por minuto que el motor trabaja a pleno rendimiento, este concepto es el WOT. En el caso de un motor diésel, que no tiene válvula de mariposa para el control del aire de admisión, el WOT es el punto en el que se inyecta la cantidad máxima de combustible en relación a la cantidad de aire aspirado, es el punto óptimo de funcionamiento, si se inyectara más combustible, se produciría un consumo innecesario y se reduciría el rendimiento del motor. Para conseguir un rendimiento óptimo de la propulsión del motor se debe elegir un paso adecuado para conseguir el WOT con la nueva entrega de potencia.

Para la elección del paso adecuado se tiene en cuenta el deslizamiento de la hélice, el cual se puede considerar la pérdida de empuje por parte de la hélice. La forma más simple de explicar el deslizamiento es pensar en un tornillo. Cada vez que un tornillo da



un giro completo, ha completado un "paso". El paso es la distancia que recorrió el tornillo durante un giro completo. Una hélice gira de la misma manera y también tiene un paso. El problema es que el agua produce resistencia contra la embarcación y la hélice, por lo que nunca se alcanza el paso real de desplazamiento. La distancia perdida entre el paso real de la hélice y la distancia recorrida en un giro completo, se denomina deslizamiento de la hélice. Es un N.º adimensional y se expresa en %, normalmente este valor está alrededor del 15% y 40% dependiendo de si la hélice está diseñada para embarcaciones de desplazamiento o de planeo. La reducción de este valor da como resultado un mejor rendimiento de la propulsión y una mayor eficiencia del combustible. Se elegirá el paso óptimo de la hélice calculando el valor de deslizamiento de la siguiente manera:

$$\text{Deslizamiento} = 1 - \left(\frac{\text{Velocidad (kn)} \times 1056 \times \text{Relación de reducción}}{\text{RPM} \times \text{Paso (pulgadas)}} \right) \times 100$$

Con la instalación de la misma hélice se tiene que por el motor Mercruiser 3.0 l se tenía un deslizamiento de:

$$\text{Deslizamiento} = 1 - \left(\frac{22 \times 1056 \times 2,15}{4800 \times 17} \right) \times 100 = \mathbf{38,78 \%}$$

Para el nuevo motor instalado:

$$\text{Deslizamiento} = 1 - \left(\frac{22 \times 1056 \times 2,15}{4000 \times 17} \right) \times 100 = \mathbf{26,54 \%}$$

Con la instalación de la misma hélice se consigue una reducción del **12,24%** del deslizamiento, lo que supondrá una mejora del rendimiento de la propulsión y una mayor eficiencia del combustible.

Por lo tanto, se mantiene la instalación de la misma hélice en el cambio de motor realizada. Se considera que por cada 200 rpm equivaldría la reducción o el aumento en una unidad del paso de la hélice, al reducir la entrega de máxima potencia en 800 rpm,



equivaldría a reducir en 4 unidades el paso, pero al aumentar el par motor, se debe aumentar el paso para que la hélice entregue el máximo empuje acorde al régimen de trabajo del motor. De esta manera se consigue con el mismo paso, asegurar el WOT del motor sin la necesidad de instalar un diámetro superior de la hélice que podría provocar una sobrecarga del motor.



5.9 Características del motor VW 1.9 TDI 115-4 ATJ marinizado.

La marinización ha consistido en la adaptación de los sistemas auxiliares del motor con el fin de instalarlo a la embarcación Starfisher 540, por tal que su funcionalidad sea apta en al medio marino. Como no se han modificado los elementos del bloque motor, las características del motor son las mismas y solo varia el peso total.

Por lo tanto:

ESPECIFICACIONES	
Motor	VW 1.9 TDI 115-4 ATJ (marinizado)
Tipo	4 cilindros Turbo-Diesel
Año	2000
Nº cilindros	4 en línea
Cilindrada (cm3)	1896
Ratio de compresión	18, 0:1
Potencia (kW)/ rpm	85/4000
Potencia (Cv)/ rpm	115/4000
Max. Par motor (Nm)/rpm	310/1900
Consumo de combustible específico (g/kWh)	200
Peso neto motor (Kg)	172,09
Alternador	120 A
Sistema eléctrico	12 V
Sistema de combustible	Inyección directa
Sistema de admisión	Turbo-super-compresor de escape
Refrigerante	4,8 l

Tabla 21. Especificaciones del motor MP-2



6. Presupuesto del proceso de marinización.

En el siguiente apartado se realiza una estimación del coste económico del proceso de marinización del motor terrestre. De este depende el tipo de motor que se quiera marinizar y de que equipos dispone la embarcación donde se instalará el propulsor, ya que determinarán en que elementos se debe invertir y en cuales se puede ahorrar.

En la tabla que se muestra a continuación, se desglosa el coste económico de los equipos instalados en los diferentes sistemas que se han tenido que adaptar durante el proceso de marinización del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ. Los sistemas que no se han tenido que instalar nuevos dispositivos, no se tienen en cuenta en el coste total de la marinización.

Se tienen en cuenta los costes de los elementos consumibles que se puedan utilizar durante la instalación como sería la tornillería u otros elementos para adaptar las conexiones de los sistemas o sus fijaciones. Esta estimación se añade con el coste de: Varios taller.

Los precios se han obtenido de los catálogos de los fabricantes, no obstante, no todos muestran sus precios, lo cual se debe solicitar presupuesto a los distribuidores del producto. Como es el caso de los elementos del sistema de escape.

El motor Volkswagen TDI 115 ATJ, se ha adquirido de un vehículo familiar que estaba en desuso y por lo tanto el coste ha sido Zero. El precio de este motor en el mercado de segunda mano se encuentra a un precio de entre 500€ y 1500€, dependiendo de su estado y kilometraje acumulado en el vehículo. No obstante, se incluye en el coste total de la marinización para aproximarse lo máximo al valor real.

Añadir también que los precios mostrados en el presupuesto son los de venta público de los fabricantes. Como taller profesional se ofrecería un descuento en la compra de productos ya que todo fabricante o distribuidor establece un margen de beneficio para la dedicación profesional. Si no fuera así, se debería contactar con algún proveedor que ofrezca este descuento.



A continuación, se muestra la tabla que resume el presupuesto realizado del coste económico del proceso de marinización del motor Volkswagen 19 TDI 115 ATJ:

PRESUPUESTO MARINIZACIÓN DEL MOTOR			
	N.º de elementos	Precio /unidad	Precio
Elementos sistema combustible			
Filtro de combustible	1	60,99 €	60,99 €
Filtro decantador	1	26,95 €	26,95 €
Manguera Thor CARBOPOMP/MI5C	1	46,85 €	46,85 €
Manguera Thor CARBOPOMP/MI5T	1	46,85 €	46,85 €
Elementos sistema escape			
Cuello de cisne tipo LT90 VETUS	1	248,00 €	248,00 €
Tubo de goma SLANG 90	1	44,65 €	44,65 €
Codo de escape Volvo Penta	1	173,83 €	173,83 €
Elementos sistema de refrigeración			
Intercooler Bowman tipo FH100-3182-3	1	884,20 €	884,20 €
Intercooler Bowman tipo FC100-4075-2	1	548,50 €	548,50 €
Codo de escape Volvo Penta	1	264,34 €	264,34 €
Elementos sistema eléctrico			
Batería SeaVolt dual propose 650	2	159,00 €	318
Conector bluetooth OBDII ELM327	1	12,00 €	12
Aplicación para sistema Android: Torque pro	1	3,40 €	3,4
Varios taller (cableado, tornillería, etc)	1	200 €	200 €
Motor VW 1.9 115 TDI ATJ (ocasión con 500.000 km)	1	1.500,00 €	1.500,00 €
		TOTAL	4.378,83 €

El coste estimado del proceso de marinización realizado es de 4.378,83 €.



7. Procedimiento de conformidad de la modificación del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ.

Una vez realizada la marinización, se procede con el proceso de conformidad del motor para comprobar que cumple con lo descritos en el Real decreto 98/2016, analizado en el apartado 2 del presente trabajo, que establece los requisitos esenciales de diseño, fabricación y construcción de las embarcaciones de recreo y sus componentes, donde se menciona qué normativa debe cumplir la entrada en el mercado de un motor nuevo o modificado.

Cualquier fabricante, al fabricar o modificar un motor, debe cumplir con la normativa establecida para que su producto sea homologado y se pueda instalar en embarcaciones o en otras estructuras.

En cuanto a la normativa sobre la sustitución de los motores, desde el punto de vista del fabricante, lo primero que se debe tener en cuenta es en qué tipo de embarcaciones irán destinados, como por ejemplo en una embarcación de recreo, de pesca, de transporte, etc. En función de cada caso, los requisitos que se exigen son diferentes.

En el caso del presente proyecto, la embarcación donde se instala el motor es una embarcación de recreo de eslora inferior a 24 metros, por lo tanto, se debe cumplir con la Directiva 2013/53/EU. Los requisitos se expresan en el boletín del estado A-2016-2578 del Real decreto 98/2016.

Por lo que respecta a las emisiones de escape, se aplicaran los procedimientos establecidos en el anexo II de la decisión N.º 768/2008/CE, la cual expresa el mismo procedimiento que el anexo I parte B, del real decreto 98/2016.

En lo que concierne a las emisiones sonoras en embarcaciones de recreo con motor de propulsión instalado a bordo, el fabricante debe aplicar los procedimientos establecidos en el anexo II de la Decisión nº768/2008/CE, que expresa exactamente el mismo procedimiento que el anexo I parte C) del mismo real decreto.



7.1. Requisitos esenciales para las emisiones de escape de los motores de propulsión.

El motor marinizado no debe superar los límites de emisiones de escape establecidos para motores de encendido por compresión que expresa la siguiente tabla:

Cilindrada SV (L/cil)	Potencia nominal del motor Pn (kW)	Partículas PT (g/kWh)	Hidrocarburos + óxidos de nitrógeno HC+NO _x (g/kWh)
SV < 0,9	PN < 37	Los valores mencionados en el cuadro 1	
	37 ≤ PN < 75	0,3	4,7
	75 ≤ PN < 3700	0,15	5,8
0,9 ≤ SV < 1,2	PN < 3700	0,14	5,8
1,2 ≤ SV < 2,5		0,12	5,8
2,5 ≤ SV < 3,5		0,12	5,8
3,5 ≤ SV < 7,0		0,11	5,8

Tabla 22. Valores límite de las emisiones de escape de los motores de encendido por compresión.

(*) Alternativamente, ningún motor de encendido por compresión debe rebasar un límite de emisión de monóxido de carbono (CO) de 5,8 g/kWh.

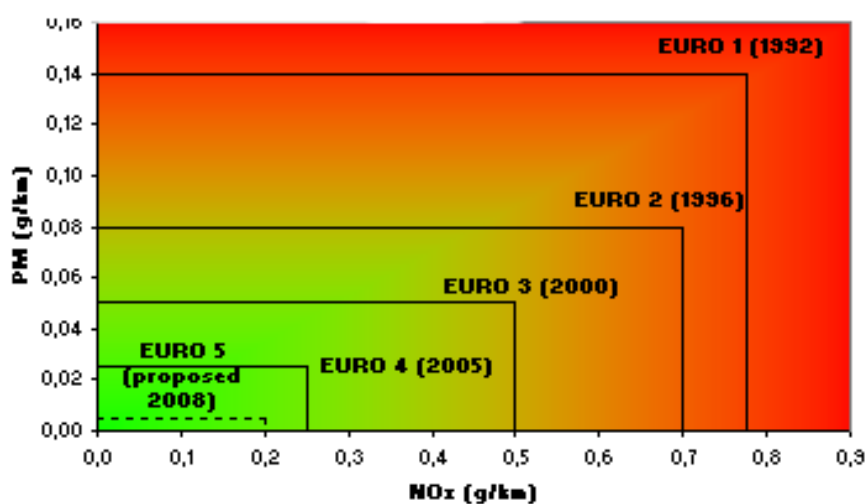
El motor Volkswagen tiene una potencia nominal de 86 kW y los litros por cilindro (SV) son de **0,475**, por lo tanto, los límites de emisiones de escape serán los siguientes:

Emisiones de escape VW 1.9 115 TDI ATJ				
Cilindrada SV (L/cil)	Potencia nominal del motor Pn (kW)	Partículas PT (g/kWh)	Hidrocarburos + óxidos de nitrógeno HC+NO _x (g/kWh)	Monóxido de carbono (CO)
SV < 0,9	75 ≤ PN < 3700	0,15	5,8	5,8

Tabla 23. Límites de las emisiones de escape del motor VW 1.9 115 TDI ATJ

Para medir las emisiones del motor marinizado, se debe acceder a un banco de pruebas certificado, y aplicar los ciclos de ensayo que se establece en el mismo real decreto. No obstante, esta actividad no se realiza en el presente proyecto, por falta de recursos y también, por el motivo de que al realizar la marinización desde el punto de vista analítico, tampoco se podría corroborar si se tuviera acceso a un banco de pruebas.

Se puede argumentar, que con la instalación de los equipos de tratamiento de los gases de escape y conseguir una mejor refrigeración del motor, las emisiones de escape resultarían inferiores a los límites establecidos por la normativa. También se debe añadir que los motores diseñados para su uso en automóviles deben cumplir con unos requisitos de emisiones mucho más estrictos que los que se establecen en embarcaciones marinas, por lo tanto, como el motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ cumple con la normativa de emisiones EURO 4, aplicada el año 2008, cumpliría con los límites establecidos por la presente normativa en embarcaciones.



66. Gráfico emisiones de escape normativa EURO
Fuente: Artículo sobre emisiones de escape

En el gráfico anterior, se establecen los límites en g/ km de NO_x . La normativa EURO4 establece el límite en 0,06 g/km de emisiones de partículas y 0,5 g/km en emisiones de NO_x , lo que equivaldría, 0,03 g/kWh y 0,25 g/kWh respectivamente.

En conclusión, los valores de emisiones de escape a tener en cuenta en el diseño de motores de vehículos que tenían que cumplir con la normativa EURO4, resultan unas 23 veces inferiores a las establecidas para los motores destinados a embarcaciones. El motor marinizado debería cumplir con los límites de emisiones de escape, no obstante, se debería comprobar aplicando los ciclos de ensayo correspondientes.



7.2 Requisitos esenciales para las emisiones sonoras.

En el apartado C del anexo II del real decreto 98/2016, se establece que las emisiones sonoras de las embarcaciones de recreo con motor instalado a bordo no pueden superar los valores que se indican en el cuadro siguiente:

Potencia nominal (kW)	L _{pASmax} (dB)
PN ≤ 10	67
10 < PN ≤ 40	72
PN > 40	75

Tabla 24. Límites de emisiones sonoras.

Siendo:

- P_N: Potencia nominal de un motor único en kW a velocidad nominal
- L_{pASmax} = Nivel de presión sonora máxima en dB

Siendo la potencia nominal del motor > 40 kW, el límite de nivel de presión sonora sería de **75 dB**. Al no poder realizar la medición de las emisiones sonoras del sistema motor de la embarcación, por los mismos motivos expresados en el apartado anterior, no se pueden comprobar los resultados de forma física.

No obstante, el mismo apartado, incluye un punto que indica que, como alternativa a los ensayos de medición de ruido, se considerara que las embarcaciones de recreo con configuraciones de motores instalados a bordo sin escape integrado, se ajustan a los requisitos establecidos en la tabla anterior, es decir, que el valor del nivel de presión sonora estará dentro de su límite, si su número de Froude es ≤ 1.1 , y su coeficiente potencia/desplazamiento es de ≤ 40 . Puesto que el motor y el sistema de escape están instalados en conformidad con las especificaciones del fabricante, se procede a la siguiente comprobación, con el fin de determinar y comprobar que la embarcación cumpliría con los requisitos de emisiones sonoras. Si los resultados están dentro del rango expresado, significará que la embarcación cumple con los requisitos de emisiones de escape.



El número de Froude F_n , se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{(g \times lwl)}}$$

Donde:

- V = velocidad máxima en m/s
- $g= 9,8 \text{ m/s}^2$
- lwl = línea de flotación en m

Dado que:

- $V= 11,37 \text{ m/s}$ (22kn)
- $g= 9,8 \text{ m/s}^2$
- $lwl= 5 \text{ m}$

Se obtiene:

$$F_n = \frac{11,37}{\sqrt{9,8 \times 5}} = 1,62$$

El $N.º$ de Froude es superior al límite establecido, no se puede aplicar el cálculo alternativo, y se debe proceder con la medición de las emisiones sonoras con el equipo adecuado. Por lo tanto, no se puede determinar si la embarcación cumple con este requisito. No obstante, el sistema de escape de la cola propulsora instalada, evacua la mezcla de gases de escape y agua salada dentro del mar, por lo tanto, este tipo de sistema de escape asegura que la reducción de las emisiones sonoras es suficiente para cumplir con los límites establecidos por la normativa.

7.3 Elección del nombre del motor marinizado.

Como se ha comentado en la normativa expresada en el apartado 2. Memoria descriptiva, el taller náutico encargado de realizar la modificación debería escoger un nuevo nombre para el motor marinizado una vez este sea certificado.

Consecuentemente con la normativa, el nombre elegido es:

MP-2- 1.9 (Marine Power 2)



8. Comparación del consumo de combustible de los motores sustituidos.

La sustitución del motor Mercruiser 3.0 l de gasolina por el diésel Marine Power-2-1.9 en la embarcación Starfisher 540, supone una reducción considerable del consumo de combustible durante la navegación. Este motivo ha sido uno de los principales para realizar y justificar la sustitución de los motores. Durante la navegación, se consume una cantidad muy alta en comparación al consumo de combustible en vehículos terrestres, y esta reducción supondrá un ahorro económico considerable para el consumidor y una mejora del rendimiento del equipo propulsor de la embarcación.

A continuación, se realiza la comparación entre los consumos de combustible de los dos motores:

Hace falta mencionar que el cálculo exacto del consumo del motor depende de muchas variables como, el régimen de potencia, el tipo de combustible, si se trata de un motor atmosférico o turbo, de inyección directa, etc. Los siguientes cálculos son aproximados, realizados a partir de los datos ofrecidos por el fabricante. No obstante, se puede aproximar el consumo de cada motor para tener una idea de la diferencia de consumo que representa la sustitución de los motores en la embarcación

8.1 Consumo de combustible del motor Marine Power. 2-1.9:

Resultados del cálculo realizado en el apartado 3.4.1 *Sistema de combustible*, obtenidos a partir del consumo específico del motor.

kW	g/h	l/kWh
5	1000	1,20
10	2000	2,40
15	3000	3,60
20	4000	4,80
25	5000	6
30	6000	7,21
35	7000	8,41
40	8000	9,61
45	9000	10,81
50	10000	12,01



55	11000	13,22
60	12000	14,42
65	13000	15,62
70	14000	16,82
75	15000	18,02
80	16000	19,23
85	17000	20,43

8.2 Consumo de combustible del Motor Mercruiser 3.0l

Se ha podido elaborar la siguiente tabla del consumo específico del motor Mercruiser 3.0l, a partir de la página web del fabricante que muestra el consumo de combustible de los motores Mercruiser. Los resultados están expresados según el régimen de vueltas del motor y no de los kW como en la anterior tabla. No obstante, el consumo representa lo mismo ya que se calcula según el régimen de potencia que entrega el motor.

La tabla obtenida es la siguiente:

rpm	lh/rpm
800	1,5
1000	3
1200	5,5
2000	11
2400	14,5
3000	18,5
3500	24
4000	28
4300	35,5
4800	39,5

Como se puede observar comparando las dos tablas de consumo de los motores, el Marine Power 2-1.9, consume aproximadamente la mitad de combustible que el motor Mercruiser 3.0 L. Por lo tanto, con la instalación del motor marinizado en la embarcación se obtiene una optimización muy considerable en el consumo de combustible por lo que aumentara la autonomía de la embarcación durante la navegación y se reducirán los costos económicos del combustible.



9. Memoria técnica de la obra de reforma por cambio de motores de la embarcación Starfisher 540.

En el siguiente apartado se desarrolla el procedimiento del cambio de motores de la embarcación de recreo Starfisher 540 de 5,35 metros de eslora. El motor que incorpora la embarcación es el Mercruiser 3.0lx de 4 cilindros con una potencia de 120 CV y se sustituye por el Marine Power 2-1.9 de 115 CV, también de 4 cilindros.

Como proyecto de obra de reforma, se realiza una memoria técnica donde se adjuntan todos los documentos técnicos requeridos por la Autoridad Notificadora. Principalmente su contenido viene definido por el requerimiento de subsanación otorgado una vez presentada la solicitud. Antes de proceder con la memoria técnica se analiza el requerimiento de subsanación otorgado.

El documento de subsanación, presentado en el apartado 2.3.2, solicita que se describan los siguientes puntos en la memoria técnica:

1. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor realizada por un taller autorizado, quien nombrará un director de obra.

Este punto indica que se debe adjuntar junto la memoria técnica, la solicitud que previamente se ha presentado para la obtención del mismo requerimiento de subsanación.

2. Presentar una memoria técnica y/o proyecto de la obra de reforma que abarque:
 - a. Descripción de la embarcación y de sus datos principales (conforme a la ISO 8666:2002). Una justificación de la nueva potencia admisible (conforme a la ISO 11592:2016 si es aplicable), que deberá tener en cuenta:
 - i. Máxima potencia posible en función de la capacidad de maniobra de la embarcación: Se presentará informa de ensayo de maniobrabilidad (conforme a la ISO 11592:2016 si es aplicable).



- ii. Máxima velocidad para la cual se ha calculado el escantillonado de la embarcación. Las características del laminado deberán estar convenientemente definidas. Para el cálculo se utilizará la norma ISO que sea aplicable según las características de la embarcación.
- iii. Máximo peso del motor para cumplir con los requerimientos del francobordo, estabilidad y flotabilidad. Cuando sea necesario se realizará el ensayo de estabilidad para verificar que se cumple con los requisitos de la norma ISO que sea aplicable según las características de la embarcación. (12217-1:2015, 12217-2:2015, 12217-3:2015).

Los anteriores puntos mencionan que normas ISO deben cumplir los diferentes requisitos exigidos por la Autoridad notificadora. En los siguientes apartados, se realizan los cálculos convenientes de cada punto acorde a lo que expresa cada norma ISO mencionada.

- b. Definición: de las instalaciones requeridas para la nueva potencia propulsora.
- c. Un estudio de la capacidad de carga máxima conforme a la ISO 14946:2001.

Cabe recalcar que la memoria técnica debe estar realizada por un técnico competente y disponer del seguro de responsabilidad civil. Al tratarse de un proyecto de carácter académico, se realiza la memoria técnica, que procede para la conformidad del cambio de motores, con fines analíticos.



9.1. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor:

A continuación, se rellena la solicitud de obra de reforma por cambio de motor intraborda que se debe presentar a la Autoridad Notificadora, para que la evalúe y determine los puntos descritos en el requisito de subsanación. También se debe adjuntar con el proyecto técnico, cuando se presente, la totalidad de los documentos.

Se debe rellenar la solicitud con los datos de los siguientes puntos:


- Taller náutico
- Apoderado/ administrador del Taller Náutico
- Datos del titular registral que realiza el proceso técnico. Puede ser una empresa o un técnico competente autónomo.
- Datos del domicilio a efecto de notificaciones
- Datos de la embarcación
- Datos de los motores a sustituir.

En la medida de lo posible, se debe aportar la siguiente documentación junto a la memoria técnica.

- Copia compulsada DNI, pasaporte o NIF
- Escritura de constitución de la Sociedad, estatutos, apoderamiento y fotocopia del C.I.F dependiendo de quien realice el proyecto.
- Documentación relativa al motor, según proceda
 - Factura de compra
 - Certificado de aduanas del importador
 - Documentación CE
- Certificado de potencia del motor.
- Tasa vigente Modelo 790-025


A continuación, se puede observar la solicitud de cambio de motores intraborda de la embarcación Starfisher 540. Al tratarse de un proyecto académico, los datos del taller y datos del titular registral que se muestran a continuación no son oficiales.



 MINISTERIO DE FOMENTO		SECRETARÍA GENERAL DE TRANSPORTES DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE	
SOLICITUD DE <input type="checkbox"/> MONTAJE <input type="checkbox"/> DESMONTAJE <input checked="" type="checkbox"/> CAMBIO DE MOTOR INTRABORDA/INTRA FUERABORDA			
DATOS DEL TALLER			
C.I.F. 646548086		RAZÓN SOCIAL POWER MARINE CORPORATION	
DOMICILIO (Calle, Plaza, y Núm. Piso, puerta) C / VILANOVA DEL CAMÍ, Nº 30		POBLACIÓN GERONA	PROVINCIA GERONA
CÓDIGO POSTAL 17001	TELÉFONOS DE CONTACTO 666 666 666		FAX 972 972 972
Datos del apoderado / administrador			
D.N.I. 45493225-F	NOMBRE AITOR	PRIMER APELLIDO BARAMBIO	SEGUNDO APELLIDO MIGUEL
DATOS DEL TITULAR REGISTRAL			
D.N.I. / C.I.F. D24941981		NOMBRE O DENOMINACIÓN SOCIAL BOATS UNIVERSE	
APELLIDOS, EN SU CASO			
Datos del apoderado / administrador			
D.N.I. 41564409-M	NOMBRE DAVID	PRIMER APELLIDO PARZELLA	SEGUNDO APELLIDO MARTÍ
DATOS DEL DOMICILIO A EFECTO DE NOTIFICACIONES			
DOMICILIO (Calle, Plaza, y Núm. Piso, puerta) C / FONT DEL CLOS, Nº 16		POBLACIÓN GARRIGAS	PROVINCIA GERONA
CÓDIGO POSTAL 17476	TELÉFONOS DE CONTACTO 666 666 666		FAX 972 972 972
DATOS DE LA EMBARCACIÓN / BUQUE			
NOMBRE DEL BUQUE BUBBLE-III	PUERTO DE MATRÍCULA SANTA POLA	ISTA 73	FOLIO - AÑO 19-91
NIB 00440985	PUERTO DE ATRAQUE —	ESLORA 5,35	
Datos del motor/es a montar			
MOTOR/ES (seleccionar la que proceda) <input checked="" type="checkbox"/> Intraborda <input type="checkbox"/> Intrafueraaborda <input checked="" type="checkbox"/> Gasolina <input type="checkbox"/> Gas oil	MARCA Y MODELO VOLKSWAGEN 1.9 TDI 115 ATJ	Nº SERIE 2282040294	CV 115
Datos del motor/es a desmontar			
MOTOR/ES (seleccionar la que proceda) <input checked="" type="checkbox"/> Intraborda <input type="checkbox"/> Intrafueraaborda <input checked="" type="checkbox"/> Gasolina <input type="checkbox"/> Gas oil	MARCA Y MODELO MERCUISER 3.0 L	Nº SERIE 06425397	CV 125

67. Solicitud de obra de reforma por cambio de motor (1/2).
Fuente: Capitanía Palamós





MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA GENERAL
DE TRANSPORTES

DIRECCIÓN GENERAL
DE LA MARINA MERCANTE

DOCUMENTACIÓN A APORTAR (Marque con una X la documentación que se acompañe)	
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Copia compulsada DNI, Pasaporte o NIF(en vigor)
<input checked="" type="checkbox"/> 2	Consentimiento para que mis datos de identidad puedan ser consultados por la DGMM en virtud del RD 522/2006, de 28 de abril
<input checked="" type="checkbox"/> 3	Escritura de constitución de la Sociedad, estatutos, apoderamiento y fotocopia del C. I. F. en su caso
<input type="checkbox"/> 4	Informe favorable de la autoridad pesquera, en su caso
<input checked="" type="checkbox"/> 5	Documentación relativa al motor (seleccionar la que proceda):
	<input type="checkbox"/> Factura de compra o contrato liquidado de impuestos
	<input type="checkbox"/> Certificado de aduanas del importador
	<input checked="" type="checkbox"/> Documentación CE
<input checked="" type="checkbox"/> 6	Certificado de potencia del motor
<input checked="" type="checkbox"/> 7	Tasa vigente Modelo 790 – 025 (disponible en Internet www.fomento.es)
<input type="checkbox"/> 8	Otra documentación

AUTORIZA

A D/ Dña. DAVID ARELLA MARTI con DNI 41564409-M
para actuar en mi nombre ante la Capitanía, al objeto de realizar todos los trámites necesarios, que aquí se solicita, incluso recibir notificaciones, retirar la documentación resultante de la misma.

SOLICITA



Autorización para el


☐ Montaje.

☐ Desmontaje.

☒ Cambio del motor/es previamente indicados.

En CAPITANÍA PALAMÓS a 10 de junio de 2018

Fdo.: El propietario  Fdo.: El autorizado 

Fdo.: El taller 

CAPITANÍA MARÍTIMA/DISTRITO MARÍTIMO DE _____



9.2. Memoria técnica de la obra de reforma por cambio de motor.

En el siguiente apartado se desarrolla la memoria técnica del proceso de homologación del cambio de motores de la embarcación Starfisher 540. Se procede a la comprobación de los diferentes requisitos que exige el requerimiento de subsanación acorde a la normativa ISO conveniente por cada punto.

Añadir que, en los siguientes apartados, se vuelven a mostrar datos ya descritos a lo largo del trabajo. De manera que se vuelven a repetir para adecuarse a la estructura del proyecto técnico a presentar a la Autoridad notificadora.

Se debe exponer la información necesaria que se requiere de forma clara y sintetizada, es decir, dependiendo del tema que abarca, el contenido a presentar no se debe extender más de lo necesario, para así facilitar la posterior evaluación del informe. Por lo tanto, se realiza la siguiente memoria técnica teniendo en cuenta estas condiciones.



9.2.1. Generalidades.

El objeto del presente proyecto técnico es el de realizar obras de reforma sobre la embarcación Starfisher 540. al efecto de mejorar las condiciones de navegación y seguridad, y economizar en el mantenimiento de la embarcación. Así como conseguir reducir el consumo de combustible y mejorar el rendimiento del equipo propulsor.

Dichas reformas consisten en la sustitución del motor intraborda Mercruiser 3.0 L, por el motor MP-2 1.9 por Power Marine Corporation.

La embarcación se homologará de acuerdo con la presente documentación técnica, debiendo cumplir con todo lo preceptuado en el requerimiento de subsanación para este tipo de embarcaciones.

9.2.2 Descripción de la embarcación.

La Starfisher 540 es una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros, tipo lancha motora, construida con el laminado de plástico reforzado por fibra de vidrio (PRFV). La embarcación, está clasificada a efectos de SEVIMAR en el grupo III, clase Q, embarcaciones de recreo no dedicadas al tráfico comercial. Es de zona de navegación 4 y de lista 7ª, construida el año 1990 por el astillero FiberCraft. La propulsión de la embarcación es de tipo dentro fueraborda, es decir, consta de un motor intraborda con transmisión por cola propulsora que atraviesa el espejo de popa.

Se trata de una embarcación con cabina, que da lugar a un compartimiento cubierto con un espacio suficiente para dormir 2-3 personas. De proa hasta popa mantiene la siguiente disposición bajo cubierta:

- Amplio espacio interior con bancos alrededor, que se transforman en cama para 2-3 personas.
- Un compartimiento donde se ubica el motor (bancada motor) y los elementos del sistema de refrigeración y escape, también se ubica parte de la cola propulsora.
- Dos compartimientos, uno a babor y el otro a estribor, para los tanques de combustible, situados antes del camarote.



- Dos compartimientos para las baterías, uno a babor y el otro a estribor, situados frente del espejo de popa.
- Amplia bañera con bancos alrededor.
- Estructura metálica diseñada para la práctica de deportes náuticos como el esquí náutico, wakeboard, etc.
- Puesto de gobierno donde se encuentran los mandos del motor propulsor a estribor y el timón de la embarcación.
- Disposición de un pequeño compartimiento en la bañera para guardar objetos varios.
- En popa se dispone de una pequeña plataforma.

9.2.3 Datos principales.

Se exponen los datos principales de la embarcación según la norma UNE-EN ISO 8666:2017. Esta norma establece las definiciones de las dimensiones principales, los datos relacionados y las especificaciones de las masas y las condiciones de carga. Se aplica a las pequeñas embarcaciones de una eslora de casco igual o inferior a 24m

Los datos principales de la embarcación Starfisher 540 son los siguientes:

- Antes del cambio de motores:
 - Eslora del casco (L_H): 5,35 m
 - Eslora de flotación (L_{WL}): 5,00 m
 - Manga ($B_{m\acute{a}x.}$): 2,08
 - Puntal (D): 1,16
 - Arqueo: 2,65 TBR
 - Carga máxima*: 577 Kg
 - Propulsión: 125 CV
 - Desplazamiento en rosca: 1,1 Tm

* Ver en el apartado de Capacidad de carga máxima (UNE-EN ISO 14964:2001/AC: 2005)



- Después del cambio de motores:
 - Propulsión:

La potencia de la embarcación después sustitución del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ marinizado es de **115 CV**

- Desplazamiento en rosca:

En este proyecto técnico solo se sustituye el motor original de la embarcación, por ende, la variación del desplazamiento en rosca depende de la diferencia de peso entre los dos motores. El cálculo del desplazamiento en rosca de la embarcación una vez substituido el motor original por el motor marinizado y los sistemas auxiliares integrados al bloque se realiza de la siguiente forma:

	Peso (Tm)
Desplazamiento en rosca Starfisher 540 (motor Mercruiser 3.0 L)	1,1
Peso motor Mercruiser 3.0 L	-0,165
Peso motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ marinizado	0,17209
Desplazamiento Starfisher 540 (VW 1.9 TDI 115 ATJ)	1,10709

Tabla 25. Desplazamiento en rosca después de la sustitución de motores

El desplazamiento de la embarcación después de la sustitución del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ marinizado es de **1,10709 Tm.**

9. 2.2.1 Justificación de la nueva potencia máxima.

Conforme la norma ISO 11592:2016, que especifica los requisitos para la determinación de la potencia nominal máxima de propulsión y la velocidad de maniobra de embarcaciones de recreo a motor de eslora L_H menor a 8m.

Para los fines de esta norma, se aplica los términos y definiciones siguientes:

- Potencia del motor: Potencia declarada por el fabricante conforme la Norma ISO 8665.



- Velocidad de la embarcación: Velocidad que puede alcanzar la embarcación en un rumbo directo, medida en nudos a través del agua.

Por lo que hace a las embarcaciones de recreo a motor intraborda, la siguiente norma específica que la potencia nominal máxima de propulsión debe establecerse mediante ensayos conformes a los capítulos 5 y 6 de la presente norma, si $V_{m\acute{a}x} > 7\sqrt{L_H}$ kn, y se debe verificar según el procedimiento de ensayo de maniobra expresado en el capítulo 7.

La velocidad máxima con el nuevo motor no se conoce y al ser una potencia inferior, de 115 CV, se considera que la velocidad máxima sería la misma que el motor original, por lo tanto, de 22 kn.

La velocidad para la cual se precisa ensayo debe ser:

$$V_{m\acute{a}x} = 7 \times \sqrt{5,35} = 16,19 \text{ kn} < 22 \text{ Kn}$$

Al ser la velocidad máxima superior, se deberá proceder a realizar el ensayo según lo especificado en este apartado.

**La realización del ensayo no es posible en este trabajo de fin de grado, ya que no se dispone del motor instalado en la embarcación. Por lo tanto, el proceso será de carácter analítico. A continuación, se muestran los principales puntos a tener en cuenta en la realización del ensayo por lo que hace a embarcaciones con motor intraborda con una $V_{m\acute{a}x} > 7\sqrt{L_H}$.*

Preparación de la embarcación para el ensayo:

- El ensayo debe realizarse con el motor de máxima potencia instalada por el fabricante.
- La hélice instalada debe ser la especificada por el fabricante, que proporcione la velocidad máxima dentro de la gama de revoluciones por minuto a plena potencia.
- Los depósitos de combustible instalados permanentemente no deben estar llenos más de la mitad de su capacidad al principio del ensayo.

- El fondo de la embarcación, motor y hélice deben estar limpios.

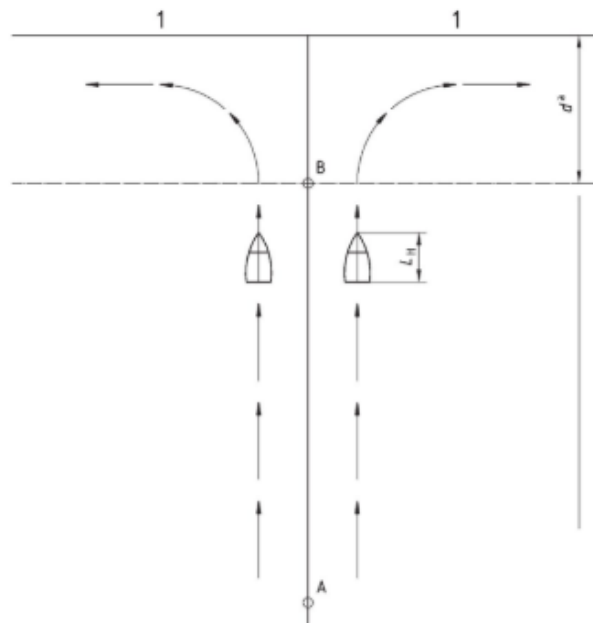
Condiciones de ensayo y determinación de la velocidad máxima:

- El ensayo se debe realizar en aguas tranquilas, considerando una velocidad del viento menor de 5 m/s (10 kn) y una altura máxima de ola 0,2 m.
- Deben realizarse sin más carga a bordo que el equipo estándar, el nivel de combustible adecuado y el operario, cuyo peso no debe ser mayor de 90 Kg.
- La velocidad máxima de la embarcación a pleno régimen, $V_{m\acute{a}x}$, debe determinarse efectuando al menos dos pasadas a lo largo de una distancia medida en los dos sentidos. La medición debe tener una precisión dentro del 2% o un nudo de la velocidad verdadera de la embarcación.

Procedimiento y criterios del ensayo de maniobra:

Según la imagen siguiente, expresada en el anexo A de la misma norma, se deben cumplir los siguientes puntos:

Ensayo de maniobra. embarcación con $v_{m\acute{a}x} > 7 \sqrt{L_H}$ kn



Leyenda
1 Línea de referencia
a Véase la tabla I



- El ensayo debe realizarse utilizando la línea de referencia como se indica en la imagen.
- Se pone la embarcación a plena potencia avante en recta en un rumbo paralelo y dentro de 5 m de la línea A-B
- Para las embarcaciones con $V_{m\acute{a}x} > 7\sqrt{L_H}$, la distancia d, respecto a la línea de referencia a la altura de la cual se inician las viradas debe ser igual a $6 L_H$.

Velocidad máxima, $v_{m\acute{a}x}$. kn	Ensayo	Distancia hasta la línea de referencia, d m	Si no se supera el ensayo
$v_{m\acute{a}x.} \leq 7\sqrt{L_H}$	no	—	—
$7\sqrt{L_H} < v_{m\acute{a}x.} \leq 30$	sí	$6 L_H$	Reducir la potencia, repetir el ensayo $v_{m\acute{a}x.}$ o repetir el ensayo al $> 85\%$ de $v_{m\acute{a}x.}$ para pasar, e instalar rótulo y velocímetro.
$v_{m\acute{a}x.} > 30$	sí	$6 L_H + 2 (v_{m\acute{a}x.} - 30)$	Reducir la potencia, repetir el ensayo $v_{m\acute{a}x.}$ o repetir el ensayo al $> 85\%$ de $v_{m\acute{a}x.}$ pasar, e instalar las placas indicadoras y el velocímetro.
Las potencias a indicar en la placa de asignación las determina el fabricante.			

26 Requisitos para la señal indicando la máxima velocidad de maniobra y la instalación del velocímetro



9. 2.3. Justificación Escantillonado.

La embarcación Starfisher 540 cumple con la norma *UNE-EN ISO 12215-1:2000. Embarcaciones de recreo. Construcción de cascos y escantillones. Parte 1: Materiales: resinas termoestables, refuerzos de fibra de vidrio, laminado de referencia, que* especifica los requisitos mínimos para las propiedades de los refuerzos de fibra de vidrio y la matriz de resina y para el laminado de referencia con el que se realizan.

La embarcación cumple con las siguientes propiedades del refuerzo de fibra:

Propiedad	Método de ensayo	Requisito
Contenido de humedad a la entrega % máx.		
Hebra		0,2
Mat de fibra cortada	ISO 3344	0,5
Tejidos		0,2
Masa por unidad, tolerancia sobre el valor nominal % máx.		
Hebra (longitud)	ISO 1889	-5 a +10
Mat de fibra cortada (superficie)	ISO 3374	-5 a +10
Tejido de hebras (superficie)	ISO 3374	-5 a +10
Pérdida por ignición, valor nominal % máx.	ISO 1887	+20
NOTA – Para otros materiales distintos de la fibra de vidrio deberían utilizarse métodos equivalentes para la determinación del contenido de humedad y la masa, incluyendo las tolerancias permisibles.		

27. Propiedades del refuerzo de fibra.

A continuación, se calculan las presiones y tensiones de diseño y la determinación del escantillón según el tipo de embarcación y la relación de máxima velocidad. Para este propósito, nos basaremos en el reglamento *“Rules and regulations for the classification of yachts and small craft” de la Lloyd’s Register of shipping*, capítulo 2, parte 2 sección 5 para la determinación del escantillonado de fondo costado y quilla.

Para las embarcaciones con una eslora L comprendida entre 2,5 m y 24 m:

9.2.3.1 Datos previos:

- Categoría de diseño estudiada: C, embarcaciones consideradas apropiadas para operar en mares con una altura significativa de olas hasta 2 m y una velocidad



característica estable del viento de una fuerza igual o inferior a 6 en la escala Beaufort.

- Dimensiones:

Basándose en las definiciones de la sección 2 del capítulo 1 del reglamento mencionado, los datos necesarios para proceder con los siguientes cálculos son los siguientes:

- Eslora total (L_H): 5,35 m
 - Eslora de flotación (L_{WL}): 5,00 m
 - Eslora de escantillonado* (L): 5,17 m
 - Velocidad máxima: 22 kn
 - Manga (B) : 2,08 m
 - Puntal (D): 1,16 m
-
- Se trata de una embarcación planeadora ya que la velocidad máxima en mar llana y en condiciones de m_{LDC} , declarada por el constructor es:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = \frac{22}{\sqrt{5,00}} = \mathbf{9,83} > 5$$

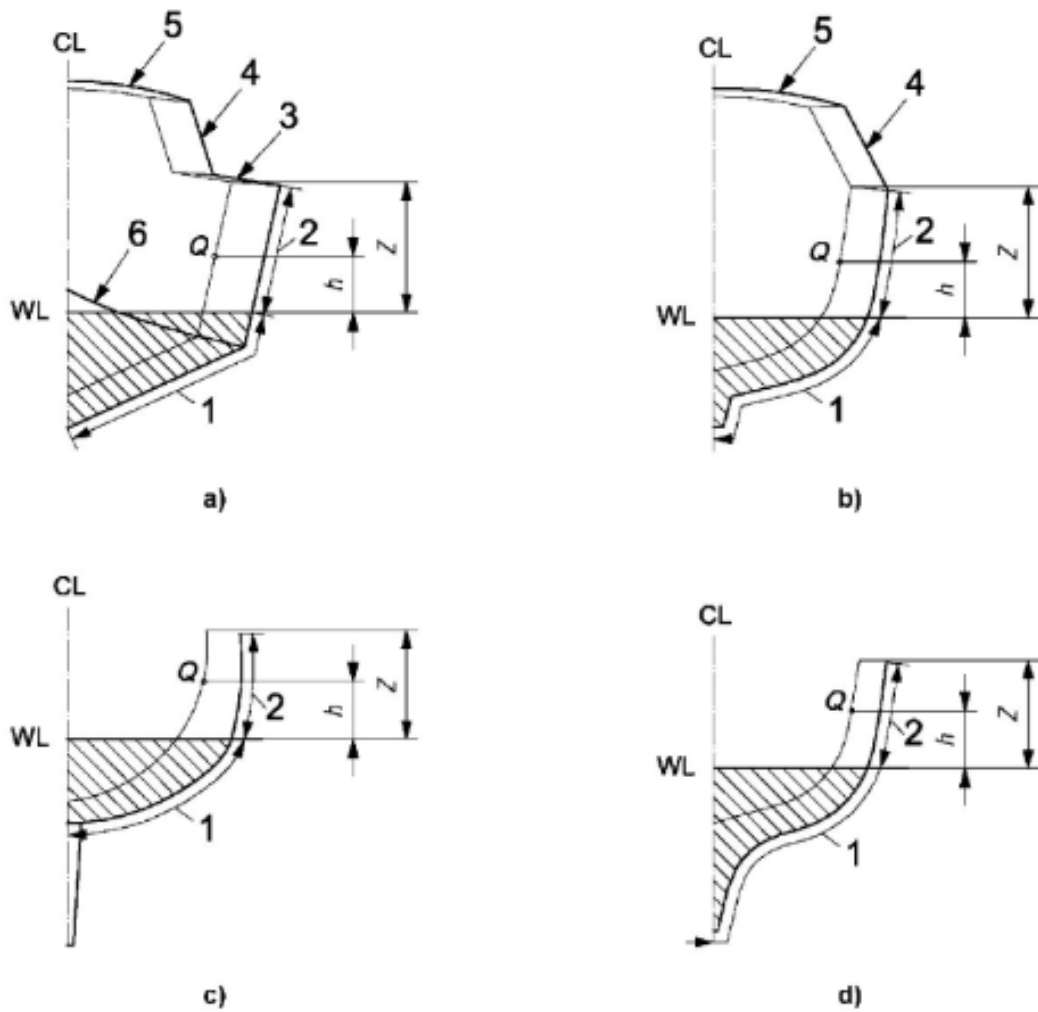
- Se toma como valor de clara entre refuerzos para el cálculo del escantillonado una media de **500 mm**

*La eslora de escantillonado viene dada por la siguiente formula:

$$L = \frac{L_H + L_{WL}}{2} = \frac{5,35 + 5}{2} = \mathbf{5,17\ m}$$

Zonas de fondo

La presión de los fondos se aplica, para todas las embarcaciones, a partir de la línea de flotación. Como se puede ver en la siguiente imagen:



69. Zonas de fondo

Leyenda:

1. Fondo.
2. Costado.
3. Superestructuras.
4. Parte superior de la superestructura.
5. Pantoque vivo.



9.2.3.2 Cálculo del escantillonado.

El escantillonado del laminado de fondo y costado del casco para embarcaciones de recreo a motor, viene dado por la tabla 2.5.1 del capítulo dos, parte 2, sección 5 del reglamento de la *Lloyd's Register* al cual se basan los siguientes cálculos. La tabla se puede encontrar en los anexos del presente proyecto.

El laminado de la quilla se debe extender a lo largo de la eslora del casco con una amplitud mínima de 150 mm. El peso reglamentario según la tabla 2.5.1, será incrementado un 50% a partir de espesores de $25L + 300$ mm. Si no es el caso, el peso del laminado de la quilla debe ser como mínimo el peso del fondo corregido.

Como la embarcación de este proyecto tiene una eslora de escantillonado de 5,17 metros, se debe coger la clara reglamentaria mínima que se exige para embarcaciones de 6 metros de eslora. En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo del escantillonado para una relación de $\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 9,83$, los resultados se obtienen a partir de la interpolación de los datos mostrados en la tabla 2.5.1 del presente reglamento.

Escantillonado del fondo	
Clara reglamentaria (mm)	380
Peso reglamentario(gr/mm ²)	3761,111111
Clara real entre refuerzos (mm)	500
Peso corregido por clara (gr/mm ²)	4948,830409

Tabla 28. Resultados del escantillonado del fondo.

Escantillonado del Costado	
Clara reglamentaria (mm)	380
Peso reglamentario(gr/mm ²)	2488,888889
Clara real entre refuerzos (mm)	500
Peso corregido por clara (gr/mm ²)	3274,853801

Tabla 29. Resultados del escantillonado de costado.



Escantillonado de la quilla	
Clara reglamentaria (mm)	429,25
Peso reglamentario(gr/mm ²)	6353,472222
Clara entre refuerzos (mm)	500
Peso corregido por clara (no hay corrección por clara) (gr/mm ²)	7400,666537

Tabla 30. Resultados del escantillonado de la quilla.

9.2.3.3. Escantillonado resultante:

Escantillonado		
	Clara entre esfuerzos (mm)	Peso corregido por clara (gr/mm)
Fondo	500	4948,830409
Costado	500	3274,853801
Quilla	500	7400,666537

Tabla 31. Resultados del escantillonado de la Embarcación Starfisher 540

Una vez determinados los pesos del laminado corregidos, se procede a la comprobación del espesor del laminado de la embarcación. Dependiendo del tejido que se utiliza durante el proceso de construcción de la embarcación, este tendrá un espesor u otro.

En la siguiente tabla se muestra la relación de los diferentes tejidos que se utilizan en el laminado de PRFV para embarcaciones de recreo.

Tipo de FIBRA	W (gr/mm)	Ge	Espesor(mm)
MAT 300	300	0,34	0,6
MAT 450	450	0,34	0,9
MAT 500	500	0,34	1
MAT 600	600	0,34	1,2
TEJIDO 450	450	0,5	0,55
TEJIDO 500	500	0,5	0,61
TEJIDO 600	600	0,5	0,75
TEJIDO 800	800	0,5	1

Tabla 32. Relación peso/espesor según el tipo de fibra.

A continuación, se comprueba el espesor del laminado del fondo, costado y quilla de la embarcación según el tipo de fibra y el N.º de capas que se laminó durante la fabricación del casco. Al no disponer de los espesores del fabricante por cada elemento del casco,



se obtienen de forma aproximada, ya que la embarcación se construyó en 1990 y debería cumplir con los siguientes resultados.

Espesor de Fondo			
nº capas	Tipo de Fibra	W (g/mm)	Espesor
3	MAT 600	1800	3,6
3	MAT 450	1350	2,7
4	TEJIDO 450	1800	2,2
Total		4950	8,5

Tabla 33. Laminado de fondo.

ESPESOR REGLAMENTARIO (MM)	8,5
ESPESOR REAL (MM)	10

Espesor de Costado			
nº capas	Tipo de Fibra	W (g/mm)	Espesor
1	MAT 600	600	1,2
2	MAT 450	900	1,8
4	TEJIDO 450	1800	2,2
Total		3300	5,2

Tabla 34. Laminado de costado.

Espesor reglamentario (mm)	5,2
Espesor real (mm)	8

Espesor de quilla			
nº capas	Tipo de Fibra	W (g/mm)	Espesor
6	MAT 600	3600	7,2
5	MAT 500	2500	4,5
3	TEJIDO 450	1350	1,65
Total		7450	13,35

Tabla 35. Laminado de quilla.

Espesor reglamentario (mm)	13,35
Espesor real (mm)	15



Por los resultados expuestos, el escantillonado de la embarcación Starfisher 540, cumple con los requisitos mínimos exigidos por Lloyd's Register of shipping, para la potencia a del nuevo motor a instalar y la velocidad que desarrollará.



9.2.4 Peso del motor. Requerimientos del francobordo, estabilidad y flotabilidad.

9.2.4.1 Generalidades.

A continuación, se procede a realizar el análisis del cumplimiento de los requerimientos del francobordo, estabilidad y flotabilidad para el peso del motor a instalar. Si es necesario se debe realizar el ensayo de estabilidad para verificar que se cumple la norma UNE-EN ISO 12217-3.

La presente memoria técnica se acoge al código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI (Capítulo 7. *Determinación del desplazamiento en rosca y de las coordenadas del centro de gravedad, punto 7.1.3*) para comprobar si es necesario realizar el ensayo de estabilidad.

La norma expresa lo siguiente:

- En todos los buques de pasaje, se llevará a cabo un reconocimiento para determinar el peso en rosca y comprobar si se han producido cambios en el desplazamiento en rosca o en la posición longitudinal del centro de gravedad (X_g).
- Si al comparar los resultados se encontrara una variación del desplazamiento en rosca que **exceda del 2% o una variación de la posición longitudinal del centro de gravedad que exceda de 1% de L, la embarcación se debe someter a una nueva prueba de estabilidad.**

La embarcación objeto de estudio del presente proyecto, es una embarcación de recreo de eslora inferior a 6m, no obstante, al no haber ninguna normativa que considere la opción de realizar la prueba de estabilidad en dichos buques, se puede justificar que la embarcación cumple con los requerimientos de estabilidad sin la necesidad de realizar el ensayo conforme a la norma UNE-EN ISO 12217-3, si no se exceden los límites mencionados.

A continuación, se comprueban los siguientes requisitos:

- **Variación de la coordenada $X_G < 1 \%$**



- **Variación del desplazamiento en rosca < 2%**

9.2.4.2 Características de los motores.

Según las especificaciones de los catálogos que se adjuntan en los anexos del presente proyecto, las características de los motores substituidos en la obra de reforma de la embarcación Starfisher 540 son las siguientes:

9.2.4.2.1 Peso de los motores.

Motor a desinstalar:

MOTOR MERCUISER 3.0L	
Año	1989
N.º cilindros	4 en línea
Cilindrada (cm3)	3000
Ratio compresión	8,3:1
Potencia (Cv)/rpm	135/4800 (capado a 125)
Potencia (Kw)/rpm	101/4800
Max. Par motor (Nm)/rpm	228/2300
Rpm ralentí	700
Peso neto (Kg)	165
Peso motor + cola propulsora (Kg)	219
Alternador	55
Sistema eléctrico	12V

Tabla 36. Características del Motor Mercruiser 3.0l

Motor a instalar:

Motor Power Marine MP-2-1.9 (marinizado)	
Motor	MP-2-1.9 (marinizado)
Tipo	4 cilindros Turbo-Diesel
Año	2000
Nº cilindros	4 en línea
Cilindrada (cm3)	1896
Ratio de compresión	18, 0:1
Potencia (kW)/ rpm	85/4000
Potencia (Cv)/ rpm	115/4000
Max. Par motor (Nm)/rpm	310/1900
Consumo de combustible específico (g/kWh)	200
Peso neto motor (Kg)	172,09
Peso motor + cola propulsora (kg)	226,09
Alternador	120 A



Tabla 37 Características del motor Power Marine MP-2-1.9.

9.2.4.2.2 Dimensiones de los motores

Motor a desinstalar:

Dimensiones (mm)		
Longitud máx.	Anchura máx.	Altura máx.
644	457	624

Tabla 38. Dimensiones motor Mercruiser 3.0l

Motor a instalar:

Dimensiones (mm)		
Longitud máx.	Anchura máx.	Altura máx.
779	630	710

Tabla 39. Dimensiones motor MP-2 1.9

9.2.4.3 Justificación de la variación XG.

Se justifica la variación de la posición longitudinal del centro de gravedad de la embarcación a través de la variación de las dimensiones del motor a instalar por los siguientes motivos:

- No se conocen las coordenadas del c.d.g de la embarcación, ya que no existe ningún estudio de estabilidad realizado en esta embarcación donde puedan consultarse.
- El motor a sustituir se ubica en el mismo lugar donde se encuentran los actuales. Solo se suplementará la bancada para conseguir los ángulos de salida de los ejes necesarios. No se realiza el cambio de elementos como el eje, hélice, tanques de combustible u otros elementos, solo se sustituye el bloque motor. Por lo tanto, la variación de la coordenada longitudinal del centro de gravedad corresponderá únicamente al peso de los motores y sus dimensiones.

En general, el c.d.g. de los motores se encuentra, aproximadamente, en el centro de su longitud. Se considera que el desplazamiento que va a sufrir el c.d.g. de los motores en su coordenada XG corresponde a la diferencia de longitud entre el motor a instalar y el



motor a desinstalar, por lo tanto, se procede a realizar el cálculo de la variación de la coordenada longitudinal del c.d.g teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Al no conocer el c.d.g de la embarcación, se considera que para este tipo de embarcaciones se sitúa aproximadamente a **un 40% de la L_{pp}** . Se toma que la eslora entre perpendiculares es igual a la eslora de flotación. Por lo tanto:

$$L_{pp} = 5,00$$

XG de la embarcación:

$$\frac{40}{100} \times 5,00 = \mathbf{2\ m}$$

Según los planos de distribución de la bancada del motor en la embarcación y la instalación del nuevo motor en la misma ubicación anterior, se puede obtener la siguiente disposición de los centros de gravedad de los motores sustituidos y su variación:

- Coordenada longitudinal del c.d.g del motor MP-2 respecto la L_{pp} : **0,65 m**

Este valor es obtenido a partir del plano de distribución de la bancada del motor realizado con el programa Autocad.

- Coordenada longitudinal del c.d.g del motor Mercruiser 3.0 L respecto la L_{pp} :

$$\text{Diferencia de longitudes de los motores: } 0,770 - 0,644 = \mathbf{0,126\ m}$$

$$Xg_{\text{Mercruiser}_{3,0L}} = 0,65 - 0,126 = \mathbf{0,524\ m}$$

Aplicando la siguiente tabla de momentos se obtiene la variación de la coordenada Xg del c.d.g de la embarcación:

Variación XG			
	Peso	XG	Momento
Desplazamiento en rosca	1,1	2	2,2
Motor Mercruiser 3.0	-0,165	0,524	-0,086
Motor a MP-2-1,9	0,17209	0,65	0,112
Total	1,107	2,010	2,225



Tabla 40. Cálculo de la variación XG

XG RESULTANTE	2,01013332
XG ORIGINAL	2
DIFERENCIA	0,01013332
PORCENTAJE	0,2%

El porcentaje de variación de la coordenada Xg del c.d.g. es menor al 1%.



9.2.4.4 Justificación de la variación del desplazamiento en rosca.

Como se ha comentado anteriormente, el único elemento sustituido es el bloque motor, por lo tanto, solo se tiene en cuenta la diferencia de los pesos de los dos motores para calcular la variación del desplazamiento en rosca.

La diferencia de pesos entre los dos motores es la siguiente:

$$Peso_{MP} - Peso_{Mercruiser} = 172,09 - 165 = 7,09 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la variación del desplazamiento en rosca de la embarcación es:

Variación peso en rosca embarcación	
Δ_R original	1,1
Δ_R resultante	1,10709
Diferencia	0,00709
Porcentaje variación	0,64%

Tabla 41. Cálculo de la variación del peso en rosca de la embarcación.

El porcentaje de variación del desplazamiento en rosca es menor al 2%.

La sustitución de motores realizado en la embarcación Starfisher 540, cumple con los límites de variación establecidos por la OMI. Por lo tanto, se justifica que la embarcación cumple con los requerimientos del francobordo, estabilidad y flotabilidad para el peso del motor a instalar expresados en la norma UNE-EN ISO 12217-3.



9.2.5 Definición de las instalaciones requeridas por el cambio de motor realizado.

En el siguiente apartado se describen los cambios generales realizados en las instalaciones existentes de la embarcación acorde a las exigencias de la memoria técnica. Si se requiere su análisis detallado, se puede consultar en los apartados anteriores del presente trabajo donde se realiza un análisis más profundo del porque y el cómo se han realizado las adaptaciones mencionadas a continuación.

- Bancada:

Se adaptan las nuevas sujeciones del motor a la bancada. Se aprovecha la misma estructura.

- Instalación eléctrica:

Se aprovecha gran parte la instalación eléctrica original. Se añade un sistema de alarma del cebado del sistema de refrigeración formado por un sensor de nivel de agua y un sensor de temperatura, conectados a una bocina que indicará mediante un sonido, el estado de cebado del sistema de refrigeración.

Por lo que hace el sistema eléctrico del motor, se dispone de un conector OBD-II, el cual se conecta un adaptador bluetooth, para establecer la interface entre este elemento y una Tablet, que cumplirá con la función de cuadro de instrumentación.

Elementos que intervienen en la interface ECU-Tablet (tablero de instrumentos)

- Mini ELM327
- Tablet Android
- Aplicación TorquePro



- Gobierno

Se adaptan los cables del mando de aceleración al potenciómetro del comando de gas electrónico del motor sustituido. Por lo que hace a los demás elementos, se mantienen los originales.

- Eje motor:

Durante la marinización, se desinstala el embrague de la caja de cambios del motor VW 1.9 TDI 115 ATJ, que permite adaptar la transmisión cardan universal del eje de la cola propulsora, a través de un helicoide, con el volante de inercia del motor marinizado.

- Hélice:

Debido al ratio de transmisión de la cola propulsora de 2:15: y las características de entrega de potencia del nuevo motor instalado, no se debe cambiar la hélice original.

- Grifo de fondo:

Se instala un nuevo grifo de fondo como toma de mar de la bomba del sistema de refrigeración.

- Sistema escape:

El sistema de escape es totalmente modificado para la adaptación del motor marinizado en la embarcación. Se ha instalado un sistema de escape semi-seco que expulsa la mezcla de gas-agua de escape dentro del mar a través de la cola propulsora.

Elementos instalados sistema de escape:

- Cuello de cisne VETUS LT9090.
- Codo de escape VolvoPenta.
- Colector de escape cola propulsora.



- Batería:

Se sustituye la batería original por la configuración de dos baterías marinas conectadas en paralelo como método de seguridad, en caso de que se descargara una de los dos. Estas se conectan y desconectan a través de un interruptor que queda en perfecta disposición del usuario en la bañera de la embarcación.

Las dos baterías instaladas son las siguientes:

- Batería de doble uso (arranque y servicio) de MCA = 650A, 65Ah
- Fabricante: SeaVolt
- Modelo: Dual propose 650
- Tensión: 12V
- Capacidad de reserva: 120 min (suministrando 25 A)
- Peso: 17,7 Kg

- Deposito combustible:

Se aprovechan los tanques de combustible de aluminio ya instalados en la embarcación. Su ubicación también se mantiene. La capacidad de los tanques es de 50 litros cada uno.



9.2.6 Estudio de la capacidad de carga máxima.

En el siguiente apartado se determinan los elementos a incluir en el cálculo de la capacidad de carga máxima de la embarcación, sin exceder los límites establecidos por la norma ISO 12217-1, acorde a los requisitos de estabilidad y flotabilidad. Se establecen también, los requisitos relativos a los asientos de los miembros de la tripulación.

Se considera asiento, cualquier superficie horizontal en la que puede sentarse una persona, con medidas mínimas de 400 mm de ancho por 700 de longitud.

Por lo tanto, en la bañera se dispone de una superficie para 4 ocupantes acorde a los espacios destinados a asientos exigidos por la presente norma. La embarcación Starfisher 540, cumple con la norma ISO 14926.

La carga máxima en función de los requisitos de francobordo según la norma ISO 12217-1, para 4 personas es la siguiente:

Teniendo en cuenta los siguientes pesos establecidos por la presente norma:

- Peso persona = 75 Kg
- Equipo básico = $(L_H - 2,5)^2$, pero no menos de 10 Kg
- Pertrechos = 20 Kg/persona.
- Líquidos de consumibles en tanques portátiles o permanentes, llenados hasta el máximo.

Se obtiene que:

Capacidad de carga máxima (Kg)			
	Peso	N.º	Total
Personas	75	5	375
Equipo de seguridad	8,1225	1	10
Combustible	0,86	100	86
Pertrechos	20	5	100
Total			571

Tabla 42. Resultados de capacidad de carga máxima.

La capacidad de carga máxima de la embarcación Starfisher 540 es de **571 kg**.



10.Conclusiones.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, se ha logrado realizar una actividad del sector del *repair&refit*, el proyecto de obra de reforma por cambio de motores de la embarcación de recreo Starfisher 540, con el objetivo de ofrecer una mejora en la embarcación y procurando minimizar el coste económico. Con este fin, se ha sustituido el motor original de la embarcación por un motor terrestre marinizado, estudiando y analizando todo lo que este proceso conlleva.

Existe una normativa que rige los requisitos de seguridad para la navegación en el mar, por lo que obliga a realizar un previo análisis para definir el procedimiento que debe seguir un proyecto de reforma con el fin de proceder con su conformidad. Por este motivo se ha realizado un estudio previo de los reales decretos que ofrece el ministerio de fomento. Se obtuvo una primera idea de que procedimiento se debía seguir, pero no una definición clara de que requisitos se debían cumplir en cuanto a la sustitución de motores en una embarcación.

La mejor opción es preguntar directamente a una Autoridad Notificadora de la Marina Mercante, en este caso por cercanía, Capitanía de Palamós, que directamente te ofrece todos los procedimientos a seguir, en este caso para una embarcación de recreo de eslora inferior a 6 metros y con motor intraborda. A partir de aquí, se obtiene la solicitud de obra de reforma de la embarcación y se procede con el análisis de los requisitos exigidos según las características del proyecto, que obligan el cumplimiento de las normas UNE ISO estudiadas a lo largo del presente trabajo. La realización de esta parte ha supuesto un aprendizaje en el hecho de empezar a conocer cómo funciona el sistema administrativo de regulación de proyectos en la industria naval, el cual ha sido muy satisfactorio.

Puntualizando en el proceso de marinización, en general, es una actividad que los grandes fabricantes de motores intraborda para embarcaciones de recreo como Mercruiser, Volkswagen o Volvo, realizan durante la fabricación de motores marinos para embarcaciones de recreo. Durante el estudio previo de esta parte del trabajo, pude observar que varios de los motores que ofrecen estos fabricantes, originalmente



estaban y están instalados en automóviles, hecho que al terminar el proceso no me pareció extraño ni si quiera me ha hecho dudar del por qué se elige esta opción.

Realmente este proceso es relativamente sencillo desde el punto de vista del fabricante, los motores, tanto marinos como terrestres, ya sean Diesel o gasolina, tienen el mismo proceso termodinámico, diferenciando los dos ciclos, y solo sus sistemas auxiliares (sistema refrigeración, sistema escape, sistema aspiración, etc.) son diferentes entre los dos medios de trabajo, por lo tanto, su adaptación se basa principalmente en la modificación de estos sistemas y no de los elementos del bloque motor (culata, cilindros, pistones, biela, válvulas, etc.). Añadir que los fabricantes también modifican las partes que se puedan ver afectadas por la corrosión del medio marino y, para afinar más el motor, se puede modificar la entrega de potencia del motor a través de la reprogramación de la ECU.

El proceso de marinización no tiene ninguna desventaja para el usuario, pero si para los vendedores de motores marinos, que ofreciendo casi las mismas prestaciones son mucho más caros. Como se ha podido observar en el presente proyecto, la instalación del motor Volkswagen 1.9 TDI 115 ATJ marinizado en la embarcación Starfisher 540, ha supuesto una reducción del consumo de combustible de casi un 50% y una disminución del deslizamiento de la hélice de un 12%, por lo tanto se ha cumplido con el objetivo de mejorar la navegabilidad de la embarcación y a un coste económico para el usuario, más asequible (4.378,83 € según el presupuesto elaborado en el trabajo) comparado con lo que supone comprar un motor nuevo que ofrezca las mismas prestaciones (entre 15.000€ y 20.000€).

Por lo que hace el procedimiento de conformidad de la sustitución de los motores intraborda de la embarcación, se ha realizado la memoria técnica correspondiente, donde se desarrollan los requisitos exigidos por la Autoridad notificadora una vez presentada la solicitud de obra de reforma. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, ya que se cumple con la normativa establecida para este tipo de actividades. Esta parte se ha realizado desde el punto de vista académico, no obstante, se podría presentar de forma oficial adjuntando la documentación que se requiere



como, la documentación de conformidad del motor, el certificado de la sustitución realizado por un taller náutico, etc.

Se quería dar trascendencia al Trabajo de Fin de Grado y que no solo quedase en ser presentado y corregido, sino que también fuera una actividad que se podría aprovechar en una embarcación real. Como se puede observar a lo largo del desarrollo del proceso de marinización del motor, todos los elementos de la embarcación que se muestran están preparados para ser instalados y así dar forma real al proyecto. No obstante, es uno de los objetivos de futuro, cuando las condiciones sean favorables, conseguir llevar a cabo la marinización del motor, su instalación en la embarcación y presentar el proyecto de obra de reforma de forma oficial para homologar el cambio de motores en la Starfisher 540. Este es uno de los objetivos que, por falta de tiempo, no se ha podido satisfacer. No obstante, se realizará.

Finalmente añadir que, como objeto de mejora del trabajo, se podrían realizar los planos de forma de la embarcación, para así proyectarlos en Maxsurf y respaldar el cumplimiento de la normativa de estabilidad y flotabilidad una vez sustituidos los motores, realizando el cálculo a través del programa informático.

A lo largo del trabajo se ha contactado con diferentes distribuidores de Fibercraft, astillero que fabricaba la Starfisher 540, pero hace 15 años que desaparecieron y no se encontraron planos originales, por lo tanto, para elaborarlos, se debería realizar la toma de medidas física de las diferentes dimensiones de la embarcación, lo cual, todo el proceso, significaría una buena propuesta de trabajo de fin de grado.



Referencias Bibliográficas

Normativa:

- [1] **AENOR UNE-EN ISO 8666.** *Pequeñas embarcaciones. Datos principales.* 2017, Madrid
- [2] **AENOR UNE-EN ISO 11592.** *Pequeñas embarcaciones. Determinación de la potencia nominal máxima de propulsión utilizando la velocidad de maniobra. Parte 1: Embarcaciones de recreo de eslora menor de 8 m.* 2017. Madrid.
- [3] **AENOR UNE-EN ISO 12217-1.** *Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m.* 2017, Madrid.
- [4] **AENOR UNE-EN ISO 12217-3.** *Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 3: Embarcaciones de eslora inferior a 6 m.* 2017, Madrid.
- [5] **AENOR UNE-EN ISO 14946/AC.** *Embarcaciones de recreo. Capacidad de carga máxima.* 2005, Madrid.
- [6] **AENOR UNE-EN ISO 12215-1.** *Embarcaciones de recreo. Construcción de cascos y escantillones. Parte 1: Materiales: resinas termoestables, refuerzos de fibra de vidrio, laminado de referencia.* 2000, Madrid.
- [7] **Real Decreto 98/2016,** *por el que se regulan los requisitos de seguridad, técnicos y de comercialización de las motos náuticas, embarcaciones deportivas y sus componentes.* 2016, Madrid.
- [8] **Real Decreto 1435/2010,** *por el que se regula el abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima del registro de matrícula de buques.* 2010, Madrid.
- [9] **Real decreto 1837/2000,** *por el que se aprueba el Reglamento de inspección y certificación de buques civiles.* 2000, Madrid.
- [10] **Real Decreto 1434/1999,** *por el que se establecen los reconocimientos e inspecciones de las embarcaciones de recreo para garantizar la seguridad de la vida*



humana en el mar y se determinan las condiciones que deben reunir las entidades colaboradoras de inspección. 1999, Madrid.

- [11] **Rules and regulations for the classification of yachts and small craft Lloyd's Register of shipping.** *Lloyd's Register of shipping. Chapter 2, Section 2: Hull construction.*
- [12] **Resolución A.749(18),** *Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI.* 1993, Madrid.

Manuales:

- [13] **Mercuriser Marine Engines,** *Service Manual nº26 GM 4 Cylinder 181 cid (3.0L),* 1999 U.S.A
- [14] **Mercuriser Marine Engines,** *Strendrive&Inboard Engines.*
- [15] **Volkswagen Marine,** *Engines for planing boats TDI115-4.* 2000.
- [16] **Volkswagen,** *Manual de taller Motor diésel 4 cilindros, edición O2,* 2003.
- [17] **Volkswagen,** *Technical Status: 4/1999, 1.9 ltr-TDI-Industrial Engine,* 1999
- [18] **Volvo Penta,** *Workshop manual aquamatic,* 2005.

Libros, publicaciones y material académico.

- [19] **Arnau Lloret.** Proyecto Fin de Grado: *Análisis y cálculo del sistema de refrigeración de agua dulce de un remolcador.* Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona. 2011.
- [20] **Autor desconocido.** Proyecto: *El motor 1.9 TDI.* [en línea] [Consulta: abril-mayo]. Disponible en: < <http://www.vagclub.net/tec/motorestdi.pdf>>.
- [21] **Carlos Alberto.** Artículo: *Elementos de diseño de sistemas de enfriamiento de motores de combustión interna.* Pereira. Escuela de Tecnología Mecánica. 2007.



- [22] **Guillem Cuspinera.** Proyecto Fin de Grado: *Análisis y estudio de los sistemas a bordo de un velero con aparejo queche de 18 metros de eslora.* Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona, 2018.
- [23] **Jordi Bigarós Amer,** *Proyecto obra de reforma por cambio de motores: "MINORISA", 7-VA-3-1-91.* L'Escala: Ingeniero Técnico Naval. 2016
- [24] **Jordi Bigarós Amer,** *Proyecto obra de reforma por cambio de motores: "VIRGEN DE FATIMA", 7-BA-2-581.* L'Escala: Ingeniero Técnico Naval. 2018
- [25] **Marta Marsé / Núria Juan.** Documento: *La industria catalana de la náutica d'esbarjo.* Barcelona. Observatorio de prospectiva Industrial de la Generalitat de Catalunya. 2010.



Webgrafía

- [1]. **Asociación Española de Normalización y Certificación.** En: AEONOR. [en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <http://www.aenor.es>
- [2]. **Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado** [en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es>
- [3]. **Consumo combustible motor Mercruiser.** En Boat fuel economy [en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <http://www.boat-fuel-economy.com/>
- [4]. **Catalogo motor Volkswagen 1.9.** En Boat Diesel [en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <http://boatdiesel.com/>
- [5]. **Ministerio de Fomento.** [en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <http://www.fomento.es/>
- [6]. **Javier Orbati.** Las baterías del barco y su recarga. En: Oceánica Náutica [en línea]. Valencia: Javier Orbati, febrero 2017 [Consulta: abril 2018]. Disponible en: <http://oceanicanautica.es/category/embarcaciones-de-recreo/>
- [7]. **Solé Diesel.** Catálogo 2017/2018. En Náutico Expo [en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <http://pdf.nauticexpo.es/pdf/sole-diesel/catalogo-2017-2018/21491-96318-5.html>.
- [8]. **Mercruiser. Catálogo motor.** En: Mercruiser en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <http://www.mercuryracing.com>
- [9]. **VETUS.** Catálogo 2017/2018. En: VETUS [en línea]. [Consulta: Mayo 2018]. Disponible en: <http://viewer.zmags.com/publication/8131946b#/8131946b/1>.
- [10]. **Volvo Penta. Catalogo cola propulsora Volvo Penta 290 SP.** en línea]. [Consulta: mayo 2018]. Disponible en: <https://www.volvopenta.es/>



ANEXOS



ANEXO 1: CERTIFICACO DE NAVEGABILIDAD DE LA EMBARCACION STARFISHER 540.



MINISTERIO DE TRANSPORTES, TURISMO Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE LA MARINA MERCANTE
INSPECCION GENERAL DE BUQUES

CERTIFICADO DE NAVEGABILIDAD
PARA EMBARCACIONES DE RECREO DE MENOS DE 15 M DE ESLORA SIN FINES
LUCRATIVOS O TRIPULACION ASALARIADA

EL INSPECTOR QUE SUSCRIBE

CERTIFICA: Que esta Inspección ha procedido al reconocimiento de la embarcación:

NOMBRE	MATRICULA	Lista	Folio	Arqueo
"BUBBI-III"	SANTA POLA	7ª	19-91	2,65

Eslera 5,35 Manga 2,08 Puntal 1,16

El casco de poliester ha sido reconocido en seco
resultando en buen estado

Ultimo reconocimiento en seco en Santa Pola el 21-2-91

Los ejes de cola son - - han sido reconocidos en - -
el - - resultando - -

La maquinaria propulsora, constituida por un motor dentro-P/B. Marca MERCURISEH
Tipo STAR FISHER Número OD440985 Potencia 125 CVB.
R.P.M. y se encuentra en buen estado

Los grupos electrógenos están constituidos por alternador y baterías
y se encuentran en buen estado

La Instalación eléctrica es de corriente voltios Hz.
Se encuentra en

El material de salvamento es apto para CUATRO personas y se encuentra en buen estado (ver reverso)
El material contraincendios, luces y señales se encuentra en buen estado (ver reverso)
El material de comunicaciones se encuentra en buen estado (ver reverso)
La habitación se encuentra en buen estado

PROXIMO RECONOCIMIENTO

Casco en seco y especial (sin caducidad para L 6 M): SIN CADUCIDAD
Casco en seco intermedio (para embarcaciones de madera):

Los propietarios y/o usuarios de las embarcaciones de recreo serán los responsables únicos del mantenimiento en perfectas condiciones del estado de la embarcación y de su equipo, así como de mantener al día los Reconocimientos periódicos prescritos y tener a disposición de las Autoridades el Certificado de Navegabilidad en perfecto estado.

Alicante de Marzo de 1991.

El Jefe de la Inspección.
MANUEL BRUNO FUSTER
Fdo.:



CAPITANIA DE PUERTO DE: SANTA POLA			
Folio 13-1991 Lista 7ª Año de Inscripción 1,991 Distintiva			
Matrícula anterior: Puerto		Lista 0ª Folio	0 Año
Nombre	<div>Actual ZARPO</div> <div>Anteriores BUBBI-III</div>		
Clase	RECREO A MOTOR	Código	
Armador actual	<div>Nombre "POZAR, S.A." DNI A-80905508</div> <div>Calle Florentino Granizo, 4</div> <div>Domicilio Población 28224 POZUELO ALARCON</div>		
Armadores anteriores	<div>LAURIDSEN, IB HARDY De SANTA POLA</div> <div>SANCHEZ VELLISCO, CLETO De MADRID</div>		
VALORACION: Casco 1,000,000 P Motor1. 750,000 P Motor2.			
DIMENSIONES		TONELAJES	
Eslora entre p.p.	m.	Total (R.B.)	2.65 tns.
Eslora	5.35 m.	Descuentos	tns.
Manga	2.08 m.	Neto	tns.
Puntal	1.16 m.	Carga maxima	tns.
Calados maximos:		Carga max. bajo cubtª.	tns.
a popa a proa		Desplaz.maxima carga	tns.
CONSTRUCCION		DISCOS	
Material casco P.R.F.V.		Franco bordo agua dulce m/m.	
Año construcción 1,990		Id.verano mares tropic. m/m.	
Punto contruc. MALAGA		Id.verano (centr.disco) m/m.	
Por FIBER CRAFT		Id. invierno m/m.	
Modelo STAR FISHER N° cons.		Id.invierno Atl.Norte m/m.	
Núm. de serie 10			
MOTORES	Pot.max.aut.: 0.00 CVE	PRUEBAS OFICIALES Fecha 00-00-0000	
PRAL.	Clase DENTROFUER	Velocidad maxima nu.	
	Marca MERCURISER	Capacidad tanque pral.	
Año	Modelo 3.OL	Consumo combustible	
Instal.	Número OD440985	Autonomía	
90	Potencia 125.00 CVE.	Radio Acción	
	R.P.M. 4,600		
AUXI.	Clase	PATENTE DE NAVEGACION	
	Marca	Núm. Fecha exp. 00-00-0000	
	Modelo		
	Número	CLASIFICACION	
	Potencia 0.00 CVE.	Grupo III Clase Q En 00-00-0000	
	R.P.M.	SALVAMENTO: Balsas 0 Cap. 0 c/u	



ANEXO.2 CATÁLOGOS DE LOS MOTORES



Catálogo Volkswagen 1.9 115 TDI ATJ (marine)

Specifications		
Type	TDI 115-4**	TDI 150-5
Engine type	4-cylinder Turbo-Diesel	5-cylinder Turbo-Diesel
Fuel system	direct injection - unit injector	direct injection ¹
Charge	exhaust turbosupercharger VTG ²	exhaust turbosupercharger VTG ²
Boost intercooling	sea-water tube heat exchanger	sea-water tube heat exchanger
Cylinders	inline 4	inline 5
Displacement (cm ³)	1896	2461
Stroke (mm)	95,5	95,5
Bore (mm)	79,5	81,0
Compression ratio	18, 0:1	19, 0:1
Performance (ISO 3046) (kW)	85	111
Performance (HP)	115	150
at	4000 rpm	4000 rpm
Specific power output (kW/l)	44,8	45,1
Appr. piston speed (m/s)	12,7	12,7
Max. torque (Nm)	310	310
at	1900 rpm	2500 rpm
Min. specific fuel consumption b ₁ (g/kWh)	200	207
Weight* (kg)	195	260
Alternator	120 A	120 A
Electrical system (2-polar)	12 V	12 V
Oil change	Once a year or after 200 hours of operation (depending on which occurs first)	
Cooling	Thermostatically controlled double circuit cooling system with sea water/engine water heat exchangers, collective exhaust pipe and water-cooled exhaust turbosupercharger, oil cooling, fuel and hydraulic oil cooling	
Other features	Connection for hot water preparation or heating provided	
Supply schedule	Cabling and instrumentation, on-board computer, electric oil suction pump for oil change, sea water filter, centrifugal fuel pre-filter/water separator, engine mounts, design cover	
Optional	Steering pump, 230-V-alternator	

Subject to changes
Available: Season 2001

¹ distribution injection pump
² water-cooled turbosupercharger with variable turbine geometry
* dry, without gear unit (Hirth H6W 450 A2: + 35 kg; MerCruiser Bravo I: + 90 kg)
** provisional facts

Catalogo Vortec 3.0 L (Mismo motor que el Mercruiser 3.0L)

● Vortec 3.0L Specification Focus

Type: 3.0L I4
Displacement: 181 cid (2966.59 cc)
Engine Orientation: Longitudinal
Compression Ratio: 10.5:1 (LW6), 9.2:1 (LMX, High CR)
8.3:1 (LMX, Low CR)
Valve Configuration: Pushrod Actuated Overhead Valves
(2 valves per cylinder)
Assembly Site: Toluca, Mexico
Valve Lifters: Hydraulic Flat Tappet
Firing Order: 1 - 3 - 4 - 2
Bore x Stroke: 101.60 x 91.44 mm
Bore Center: 112.26 mm
Bore Area: 324.29 cm²
Fuel System: MPFI Capable (LMX)
N/A (LW6)
Fuel Type: LMX: Gasoline (MPFI Capable)
LW6: Propane, Natural Gas
Horsepower:
94 hp (70 kW) @ 3200 rpm (MPFI: Gasoline (LMX))
Low CR
93 hp (69 kW) @ 3.0L rpm (MPFI: Gasoline (LMX))
High CR
73 hp (54 kW) @ 2200 rpm (Natural Gas: (LW6))
64 hp (48 kW) @ 1800 rpm (Propane: (LW6))

Torque:

188 lb-ft (255 Nm) @ 1800 rpm (Propane: (LW6))
178 lb-ft (241 Nm) @ 1600 rpm (Nat. Gas: (LW6))
172 lb-ft (233 Nm) @ 1800 rpm (MPFI: Gasoline (LMX))
High CR
168 lb-ft (228 Nm) @ 2300 rpm (MPFI: Gasoline (LMX))
Low CR

Actual power levels may vary depending on OEM calibration and application.

Fuel Shutoff: OEM defined

Shipping Weight: 363 lb (165 kg)

Materials:

Block: Cast Iron

Cylinder Head: Cast Iron with exhaust valve seat inserts

Intake Manifold: Customer Supplied

Exhaust Manifold: Customer Supplied

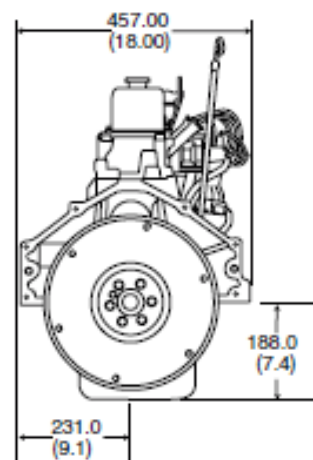
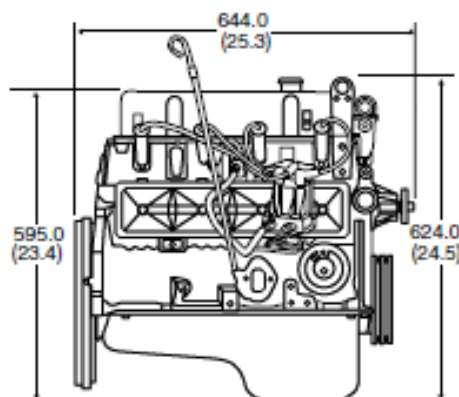
Main Bearing Caps: 2-Bolt Cast Iron

Crankshaft: Nodular Cast Iron

Camshaft: Indus. Profile Low Speed, High Torque (8-port)

Connecting Rods: Powdered Metal

Information may vary with application. All specifications listed are based on the latest product information available at the time of publication. The right is reserved to make changes at any time without notice.





ANEXO.3 CATÁLOGO COLA PROPULSORA VOLVO SP 290.



Technical data

Models 280, 280T, 280PT, 285, 285A and 290

General Data

Type designation	Aquamatic 280, 285 & 290
Shift Mechanism	Self adjusting Silent Shift type of cone clutch, servo assisted disengagement. Direction of rotation adjustable.
Maximum propeller diameter	16"
Tilting angle	60°
Tilting device, model 280, 280T, 285 & 285A	Electro mechanical tilting device
Power trim & tilting device, models 280PT, 285PT & 290	"Power Trim"
Steering angle, max	30°

Overall gear ratio

Model 280, 280 B ¹⁾ , 290	1.61:1
Model 280, 280 C ¹⁾ , 290	1.89:1
Model 280, 280 D ¹⁾ , 290	2.15:1
Model 280T	1.61:1
Model 280PT	1.61:1, 1.89:1
Model 285, 285A	1.61:1
Model 290A	1.61:1
Model 290A	2.15:1

Weight

Model 280	52 kg (114.6 lb.)
Model 290	54 kg (119 lb.)

Gear backlash

Upper gear, measured directly on the gear wheels,	
ratio 1.61:1	0.15–0.25 mm (0.006–0.010")
ratios 1.89:1 and 2.15:1	0.08–0.18 mm (0.003–0.007")
Lower gear, measured on the intermediate shaft splines joint..	
	0.06–0.10 = 0.15–0.25 mm gear backlash in the gear (0.002–0.004")

¹⁾ On certain 280 drives the gear ratio is given by the marking B, C, or D.



ANEXO 4. NORMATIVA BOLETIN DEL ESTADO



Real Decreto 98/2016

Capítulo 1. Disposiciones generales.

Artículo 3. Exclusiones.

2. Los requisitos sobre emisiones de escape establecidos en el anexo I parte B no serán de aplicación a:

c) Los motores de propulsión contruidos por el interesado directamente para su uso personal, siempre que no se introduzcan en el mercado de la Unión Europea durante un periodo de 5 años a contar desde la puesta en servicio de la embarcación.

3. Los requisitos sobre emisiones sonoras exigidos por el anexo I parte C no serán de aplicación a:

b) Las embarcaciones contruidas para uso personal directamente por el interesado que no se introduzcan en el mercado de la Unión Europea durante un periodo de 5 años a contar desde la puesta en servicio de la embarcación.

Capítulo 10. Evaluación de conformidad

Artículo 33. Reglas generales para la evaluación de conformidad

3. Toda persona que introduzca en el mercado o ponga en servicio un motor de propulsión o una embarcación que haya sufrido una modificación o conversión importante de los motores o de la embarcación, así como toda persona que cambie el fin al que está destinada una embarcación no incluida en el ámbito de aplicación de este real decreto, de tal manera que pase a ser considerada embarcación de recreo, aplicara el procedimiento que se refiere el artículo 39 antes de introducir el producto en el mercado o ponerlo en servicio.

Artículo 39. Evaluación posterior a la fabricación

La evaluación posterior a la fabricación mencionada en el artículo 33, apartados 2,3 y4 se efectuará tal como se establece en el anexo V de este real decreto.



ANEXO II. Requisitos esenciales para las emisiones de escape de los motores de propulsión

Los motores de propulsión cumplirán los requisitos esenciales sobre emisiones de escape establecidos en la presente parte.

Identificación del motor de propulsión:

Cada motor llevará marcada claramente la información siguiente:

- Nombre, denominación comercial registrada o marca registrada y dirección de contacto del fabricante del motor y, si procede, nombre y dirección de contacto de la persona que haya adaptado el motor.
- Tipo de motor y, si procede, familia.
- Un número de serie único del motor.
- Marcado CE conforme a lo dispuesto en el artículo 32.
 - El marcado de la información mencionada en el punto 1.1 deberá resistir durante el período de vida normal del motor y ser claramente legible e indeleble. Si se utilizan etiquetas o chapas, deberán ir sujetas de manera que resistan colocadas durante el período de vida normal del motor y las etiquetas o chapas no puedan retirarse sin destruirlas o desfigurarlas.
 - Las marcas deberán colocarse en una parte del motor necesaria para su funcionamiento normal y que no exija normalmente su sustitución durante el período de vida del motor.
 - Dichas marcas deberán situarse de modo que resulten fácilmente visibles una vez montado el motor con todos los componentes necesarios para su funcionamiento.



Requisitos sobre emisiones de escape

Los motores de propulsión deberán diseñarse, construirse y montarse de manera que, cuando estén correctamente instalados y en servicio normal, las emisiones no superen los valores límite, obtenidos a partir del punto 2.1, cuadro 1, y el punto 2.2, cuadros 2 y 3.

Valores aplicables a efectos de lo dispuesto en el apartado 2 de la disposición transitoria única y en el punto 2.2, cuadro 2:

Cuadro 1

Tipo	Monóxido de carbono $CO = A + \frac{B}{P_N^n}$			Hidrocarburos HC $= A + \frac{B}{P_N^n}$			Óxidos de nitrógeno NO_x	Partículas PT
	A	B	n	A	B	n		
Dos tiempos encendido por chispa.	150,0	600,0	1,0	30,0	100,0	0,75	10,0	Sin objeto.
Cuatro tiempos encendido por chispa. . .	150,0	600,0	1,0	6,0	50,0	0,75	15,0	Sin objeto.
Encendido por compresión.	5,0	0	0	1,5	2,0	0,5	9,8	1,0

A, B y n son constantes con arreglo al cuadro, P_N es la potencia nominal en kW.

Valores aplicables desde la entrada en vigor de este real decreto:



**Cuadro 2. Valores límite de las emisiones de escape de los motores de encendido por
compresión (CI)⁽²⁾**

Cilindrada SV (L/cyl)	Potencia nominal del motor P_N (kW)	Partículas PT (g/kWh)	Hidrocarburos + óxidos de nitrógeno HC+NO _x (g/kWh)
SV < 0,9	$P_N < 37$	Los valores mencionados en el cuadro 1	
	$37 \leq P_N < 75$	0,30	4,7
	$75 \leq P_N < 3700$	0,15	5,8

Cilindrada SV (L/cyl)	Potencia nominal del motor P_N (kW)	Partículas PT (g/kWh)	Hidrocarburos + óxidos de nitrógeno HC+NO _x (g/kWh)
$0,9 \leq SV < 1,2$	$P_N < 3700$	0,14	5,8
$1,2 \leq SV < 2,5$		0,12	5,8
$2,5 \leq SV < 3,5$		0,12	5,8
$3,5 \leq SV < 7,0$		0,11	5,8

(*) Alternativamente, los motores de encendido por compresión cuya potencia nominal máxima sea igual o superior a 37 kW e inferior a 75 kW y cuya cilindrada sea inferior a 0,9 l/cilindro no deberán rebasar un límite de emisión de partículas (PT) de 0,20 g/kWh y un límite de emisión combinada de hidrocarburos y de óxidos de nitrógeno (HC + NO_x) de 5,8 g/kWh.

(**) Ningún motor de encendido por compresión deberá rebasar un límite de emisión de monóxido de carbono (CO) de 5,0 g/kWh.



Cuadro 3. Valores límite de las emisiones de escape de los motores de encendido por chispa (SI)

Tipo de motor	Potencia nominal del motor P_N (kW)	Monóxido de carbono CO (g/kWh)	Hidrocarburos + óxidos de nitrógeno (g/kWh)
Motores mixtos e instalados a bordo.	$P_N \leq 373$	75	5
	$373 < P_N \leq 485$	350	16
	$P_N > 485$	350	22
Motores fueraborda y motores de motos náuticas.	$P_N \leq 4,3$	$500 - (5,0 \times P_N)$	30
	$4,3 < P_N \leq 40$	$500 - (5,0 \times P_N)$	$15,7 + \left[\frac{50}{P_N^{0,9}} \right]$
	$P_N > 40$	300	$15,7 + \left[\frac{50}{P_N^{0,9}} \right]$



Requisitos esenciales para las emisiones sonoras:

Las embarcaciones de recreo con motor instalado a bordo o mixto sin escape integrado, las motos náuticas, los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado deberán ajustarse a los requisitos esenciales sobre emisiones sonoras establecidos en la presente parte.

Niveles de emisión sonora:

Las embarcaciones de recreo con motores instalados a bordo o mixtos sin escape integrado, las motos náuticas, los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado deberán diseñarse, construirse y montarse de manera que las emisiones sonoras no superen los valores límite que se indican en el cuadro siguiente:

Potencia nominal (monomotor) en kW	Nivel de presión sonora máxima = L_{pASmax} en dB
$P_N \leq 10$	67
$10 < P_N \leq 40$	72
$P_N > 40$	75

Siendo:

P_N = Potencia nominal de un motor único en kW a velocidad nominal. L_{pASmax} = Nivel de presión sonora máxima en dB.

Para las unidades de motor doble y de motor múltiple compuestas de todo tipo de motores podrá aplicarse un margen de tolerancia de 3 dB.



Como alternativa a los ensayos de medición de ruido, se considerará que las embarcaciones de recreo con configuraciones de motores instalados a bordo o mixtos sin escape integrado se ajustan a los requisitos de ruidos establecidos en el punto 1.1 si su número de Froude es $\leq 1,1$ y su coeficiente potencia/desplazamiento es de ≤ 40 y el motor y el sistema de escape están instalados de conformidad con las especificaciones del fabricante del motor.

El «número de Froude» F_n se calculará dividiendo la velocidad máxima de la embarcación de recreo V (m/s) por la raíz cuadrada de la longitud en la línea de flotación lwl (m), multiplicada por la constante gravitatoria de aceleración dada, g de $9,8 \text{ m/s}^2$:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot lwl}}$$

El «coeficiente potencia/desplazamiento» se calculará dividiendo la potencia nominal del motor P_N (en kW) por el desplazamiento de la embarcación de recreo D (en toneladas):

$$\text{Coeficiente Potencia/desplazamiento} = \frac{P_N}{D}$$

Manual de instrucciones

Para las embarcaciones de recreo con motores instalados a bordo o mixtos con o sin escape integrado y las motos náuticas, el manual de instrucciones exigido en la parte A, punto 2.5, incluirá la información necesaria para mantener la embarcación de recreo y el sistema de escape en condiciones que, en la medida en que sea viable, garanticen, en el marco de una utilización normal, la conformidad con los valores límite sonoros especificados.



Para los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado, el manual de instrucciones exigido en la sección 4 de la parte B deberá ofrecer las instrucciones necesarias para mantener el motor en condiciones que, en la medida en que sea viable, garanticen, en el marco de una utilización normal, la conformidad con los valores límite sonoros especificados.

Durabilidad

Las disposiciones sobre la durabilidad establecidas en la parte B, sección 3, se aplicarán «mutatis mutandis» a la conformidad con los requisitos sobre emisiones sonoras establecidas en la sección 1 de esta parte.

ANEXO V Conformidad equivalente sobre la base de la evaluación posterior a la fabricación (Módulo EPF)

La evaluación de la conformidad posterior a la fabricación es el procedimiento destinado a evaluar la conformidad equivalente de un producto cuando el fabricante no ha asumido la responsabilidad en lo que respecta a la conformidad del producto con lo dispuesto en este real decreto, y mediante el cual una persona física o jurídica con arreglo al artículo 34 del mismo, que introduce el producto en el mercado o lo pone en servicio bajo su propia responsabilidad, asume la responsabilidad de la conformidad equivalente del producto. Dicha persona deberá cumplir las obligaciones establecidas en los puntos 2 y 4 y garantizar y declarar bajo su exclusiva responsabilidad que el producto en cuestión, que se ajusta a lo dispuesto en el punto 3, es conforme con los requisitos exigidos por este real decreto.

La persona que introduzca el producto en el mercado o lo ponga en servicio presentará ante un organismo notificado una solicitud de informe posterior a la fabricación del producto y deberá facilitar al organismo notificado los documentos y la información técnica que le permitan evaluar la conformidad del producto con los requisitos exigidos



por este real decreto y toda información disponible sobre el uso del producto después de su primera puesta en servicio.

La persona que introduzca en el mercado el producto o lo ponga en servicio mantendrá la información técnica a disposición de las autoridades competentes durante un período de diez años después de que el producto haya sido evaluado sobre su conformidad equivalente con arreglo al procedimiento de evaluación posterior a la fabricación.

El organismo notificado examinará el producto de manera individual y efectuará los cálculos, ensayos y demás evaluaciones que se necesiten para garantizar que la conformidad equivalente del producto con los requisitos pertinentes de este real decreto ha quedado demostrada.

El organismo notificado elaborará y expedirá un certificado y el correspondiente informe de conformidad relativo a la evaluación realizada y conservará una copia del certificado y del informe de conformidad a disposición de las autoridades competentes durante un período de diez años a partir de la fecha en que se hayan expedido dichos documentos.

El organismo notificado colocará su número de identificación al lado del marcado CE de conformidad del producto homologado, o hará que sea colocado bajo su responsabilidad. En caso de que el producto evaluado sea una embarcación, el organismo notificado también deberá haber colocado, bajo su responsabilidad, el número de identificación de la embarcación contemplado en el anexo I, parte A, punto 2.1; el campo previsto para el código de país del fabricante se usará para indicar el país de establecimiento del organismo notificado, y los campos previstos para el código único del fabricante que le haya atribuido la autoridad nacional del Estado miembro, para indicar el código de identificación de la evaluación posterior a la fabricación asignado al organismo notificador, seguido del número de serie del certificado de la evaluación posterior a la fabricación. Los campos del número de identificación previstos para el mes y el año de producción y para el año del modelo se utilizarán para indicar el mes y el año de la evaluación posterior a la fabricación.

Marcado CE y declaración UE de conformidad.



La persona que introduzca el producto en el mercado o lo ponga en servicio colocará el marcado CE y, bajo la responsabilidad del organismo notificado mencionado en la sección 3, el número de identificación de este último en el producto respecto del cual el organismo notificado haya evaluado y certificado su conformidad equivalente con los requisitos pertinentes de este real decreto.

La persona que introduzca en el mercado el producto o lo ponga en servicio formulará una declaración UE de conformidad y la conservará a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años a partir de la fecha de expedición del certificado de evaluación posterior a la fabricación. En la declaración UE de conformidad se identificará el producto para el cual ha sido establecida.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes que lo soliciten

En caso de que el producto evaluado sea una embarcación, la persona que la introduzca en el mercado o la ponga en servicio colocará en la embarcación la chapa del constructor descrita en el anexo I, parte A, punto 2.2; dicha chapa contendrá las palabras «evaluación posterior a la fabricación» y el número de identificación de la embarcación descrito en el anexo I, parte A, punto 2.1, de conformidad con lo dispuesto en la sección 3.5. El organismo notificado informará a la persona que introduzca el producto en el mercado o lo ponga en servicio de sus obligaciones en el marco de dicho procedimiento de evaluación posterior a la fabricación.



**ANEXO VI Requisitos adicionales en caso de que se utilice el control interno de la
producción y los ensayos supervisados de la producción previstos en el módulo A1
(Artículo 40, apartado 2)**

Diseño y construcción. En una o varias de las embarcaciones representativas de la producción del fabricante, este u otra persona por cuenta de él realizará uno o más de los siguientes ensayos, cálculos equivalentes o controles:

Ensayo de estabilidad de acuerdo con el anexo I, parte A, punto 3.2.

Ensayo de flotabilidad de acuerdo con el anexo I, parte A, punto 3.3.

Emisiones sonoras. En lo que respecta a las embarcaciones de recreo equipadas con motores instalados a bordo o mixtos sin escape integrado y a las motos náuticas, el fabricante de la embarcación u otra persona por cuenta de él realizará los ensayos sobre emisiones sonoras establecidos en el anexo I, parte C, en una o varias embarcaciones representativas de su producción y bajo la responsabilidad de un organismo notificado elegido por el fabricante.

En lo que respecta a los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado, el fabricante del motor u otra persona por cuenta de él efectuará los ensayos sobre emisiones sonoras establecidos en el anexo I, parte C, en uno o varios motores de cada familia de motores representativos de su producción y bajo la responsabilidad de un organismo notificado elegido por el fabricante.

En caso de que se ensaye más de un motor perteneciente a una familia de motores, deberá aplicarse el método estadístico descrito en el anexo VII para garantizar la conformidad de la muestra



Real Decreto 1435/2010.

Artículo 10. Documentación requerida para el abanderamiento de las embarcaciones sin marcado CE.

1. Respecto de las embarcaciones que carezcan del marcado CE, tanto nuevas, con la excepción de las construidas por aficionados, como aquellas existentes procedentes de países terceros o de subasta o hallazgos, que carezcan de documentación identificativa de la embarcación y del país de procedencia, se deberá obtener, previamente a su registro, el marcado CE, mediante un procedimiento de evaluación de la conformidad con posterioridad a su fabricación, regulado en el artículo 6.1 del Real Decreto 2127/2004, de 29 de octubre, por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores. Una vez obtenido dicho marcado, se podrá solicitar el registro presentando la documentación indicada en el artículo 9 de este real decreto.

2. Las embarcaciones existentes procedentes de la Unión Europea que carezcan del marcado CE, podrán registrarse siempre que se cumpla una de las condiciones siguientes:

a) Que la embarcación disponga de un certificado de inspección de buques anterior al 2 de junio de 1992, expedido por la Dirección General de la Marina Mercante.

b) Que la embarcación disponga de un certificado de homologación expedido por la Dirección General de la Marina Mercante.

c) Que la embarcación disponga de un certificado de construcción por unidades expedido por la Dirección General de la Marina Mercante.

d) Respecto de las embarcaciones que acrediten haber sido comercializadas en la Unión Europea antes del 16 de junio de 1998, la presentación de un proyecto elaborado y firmado por técnico titulado competente, en el que a juicio de la Administración marítima se demuestre que la embarcación cumple con lo establecido en la Orden FOM/1144/2003, de 28 de abril, por la que se regulan



los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo las embarcaciones de recreo, y, en la medida de lo posible, con las normas UNE armonizadas que se incluyen en el listado del anexo VIII. Asimismo, habrán de superar con resultado favorable el reconocimiento inicial realizado por la Administración marítima de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.A del Real Decreto 1434/1999. Las embarcaciones previamente registradas en otro Estado miembro de la Unión Europea que tengan menos de 25 años de antigüedad y una eslora inferior a 24 metros, podrán registrarse sin necesidad de presentar el correspondiente proyecto, siempre que la marca y el modelo figure en la base de datos de las embarcaciones homologadas por la Dirección General de la Marina Mercante, y, por parte de la Administración marítima, se someta la embarcación a un reconocimiento inicial, que será ampliado con el alcance de los reconocimientos periódicos definidos en el artículo 3.B del Real Decreto 1434/1999.

e) Respecto de las embarcaciones que no acrediten haber sido comercializadas en la Unión Europea antes del 16 de junio de 1998, la obtención del marcado CE mediante un procedimiento de evaluación de la conformidad con posterioridad a su fabricación, de acuerdo a lo establecido en el artículo 6.1 del Real Decreto 2127/2004, de 29 de octubre, por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores.

3. En los supuestos considerados en el apartado anterior, el interesado podrá solicitar el registro presentando ante el distrito marítimo la documentación que se indica a continuación:

a) Certificado de inspección de buques o certificado de homologación o certificado de construcción por unidades o los requisitos que se indican en el apartado 2.d) o la obtención del marcado CE mediante un procedimiento que se indica en el apartado 2.e) de este artículo, según proceda.



- b) Aportación del título de adquisición de la propiedad o del derecho de disfrute.
- c) Certificado de baja en el registro del país de origen para las importadas previamente registradas en otro país o declaración responsable de que tal requisito no es necesario en ese país.
- d) Autorización, en su caso, de conformidad con lo previsto en el artículo 32.3 de la Ley 30/1992, que acredite a otra persona física o jurídica para actuar en nombre del propietario.
- e) Documentación acreditativa del pago o, en su caso, no sujeción o exención del Impuesto especial sobre determinados medios de transportes.
- f) Justificante de ingreso de la tasa de inscripción en el Registro de matrícula de buques, regulada en la disposición adicional decimosexta de la Ley 27/1992.
- g) Justificante del pago de la tasa de ayudas a la navegación regulada en el artículo 20 de la Ley 33/2010.



ANEXO II REAL DECRETO 1434/1999

2.2 Tanques de combustible (aireación, niveles y bocas de llenado):

Siempre que haya lugar:

- a) Comprobar el estado de corrosión y/o pintado del interior del tanque si fuera posible.
- b) Comprobar el correcto estado de todas las tuberías, manguitos y posibles abrazaderas que tengan acceso al tanque (tuberías de llenado, vaciado, aireación, sonda), comprobando que ninguna de ellas tiene pérdidas y su estado de conservación es el adecuado.
- c) Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de aireación del tanque, verificando que se encuentra libre de cualquier posible obstrucción, no da lugar a pérdidas en caso de rebose, salvo por las zonas previstas para el caso, y que su salida al exterior es la especificada en el manual de propietario.
- d) Comprobar el correcto funcionamiento del sistema niveles, tanto del sistema de medida de nivel manual como los niveles si los hubiera. Se verificará que se encuentra libre de cualquier posible obstrucción, no dando lugar a pérdidas a lo largo de su recorrido.
- e) Comprobar las bocas de llenado verificando cumplan las normas en vigor en cuanto a dimensiones y funcionamiento y observando no se produzcan pérdidas durante la fase de llenado de tanques.
- f) Comprobar el correcto funcionamiento de todas las válvulas del sistema de carga/descarga de combustible de los tanques, verificando su accionamiento y buen funcionamiento, acorde a los requerimientos del tipo de accionamiento al que se encuentre sometida las válvulas (manual y/o automático).
- g) Comprobar la fijación de los tanques no estructurales verificando que no existe un desgaste excesivo en las zonas de los elementos de fijación.



2.3 Ventilación del local del motor propulsor:

Siempre que haya lugar:

- a) Comprobar el cumplimiento por parte de la ventilación de los requisitos en cuanto a instalación y dimensionamiento descritos en el manual del propietario.
- b) Si la ventilación fuese del tipo forzada. Comprobar la integridad y el buen funcionamiento de los ventiladores.
- c) Comprobar el estado de los filtros si los hubiera.
- d) Comprobar mediante el uso de humo o cualquier otro tipo de material capaz de enrarecer la atmósfera del local el buen « tiro » de la instalación.



Real decreto 1837/2000.

Capítulo 6. Inspección y control de los buques de pabellón español en servicio.

Artículo 38. Inspección y control de las transformaciones, reformas y grandes reparaciones de buques de pabellón español.

1. La transformación, reforma o gran reparación de un buque de pabellón español requerirá la autorización previa del proyecto por parte del director general de la Marina Mercante, con objeto de verificar el cumplimiento de dicho proyecto con la normativa nacional o internacional aplicable, de acuerdo con las características del buque y con el fin al que está destinado, en materia de seguridad marítima y prevención de la contaminación del medio ambiente marino. En el caso de que la transformación o reforma de un buque se realice en diferentes lugares, cada una de las partes del buque o de las fases de la transformación o reforma, requerirán una autorización específica de conformidad con lo dispuesto en este artículo.

2. Si la transformación, reforma o reparación va ser realizada en territorio español, la solicitud será presentada por el astillero o taller encargado de los trabajos y por el operador o empresa operadora del buque, en la Capitanía Marítima en cuyo ámbito geográfico radique el astillero o taller. Si va a ser realizada en el extranjero, será presentada por el operador o empresa operadora ante la Dirección General de la Marina Mercante.

3. Las solicitudes serán dirigidas al Director general de la Marina Mercante e irán acompañadas del proyecto de transformación, reforma o reparación del buque, integrado por el conjunto de las especificaciones, cálculos, planos, justificaciones, presupuestos y demás documentos técnicos que definan y determinen las exigencias técnicas de las obras. El proyecto deberá incluir toda la documentación específica que determine la normativa en vigor y justificar técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las disposiciones requeridas por la normativa técnica aplicable en materia de seguridad marítima y prevención de la contaminación del medio ambiente marino.



4. El proyecto será redactado y suscrito por técnico titulado competente, que reúna las condiciones exigibles para el ejercicio de su profesión, y visado por el Colegio Oficial al que pertenezca.
5. Cuando la normativa aplicable requiera que, con antelación a la autorización del proyecto de transformación, reforma o reparación de buques pesqueros, sea emitido un informe del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación o de la Comunidad Autónoma correspondiente con competencia en la materia, no se otorgará la autorización del proyecto sin que dicho trámite haya sido realizado.
6. El expediente será resuelto en un plazo máximo de seis meses notificándose la resolución a los interesados según lo dispuesto en la LRJPAC. En lo no previsto en este artículo, se estará a lo dispuesto en el artículo 23 si las actuaciones son en territorio español y en el 32 si son en el extranjero.
7. La modificación de las solicitudes de autorización de las transformaciones, reformas o reparaciones de buques, así como de los proyectos o documentación técnica correspondiente, se realizará de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 24.
8. Otorgada la autorización, se designará un director de obra y a un director de la ejecución de la obra, según lo dispuesto en el artículo 26. También será de aplicación, si procede, lo dispuesto en los artículos 30 y 31, relativos a la inspección y control de botaduras y a la realización de pruebas oficiales.
9. Las reparaciones de buques de pabellón español que se deban realizar en el extranjero, por averías, accidentes, u otras causas de siniestralidad que impidan al buque regresar a territorio español, seguirán lo previsto en el artículo 39, sobre inspección y reconocimiento de buques de pabellón español en puertos extranjeros.
10. Las transformaciones, reformas o reparaciones realizadas en buques o embarcaciones menores de 24 metros de eslora (L) podrán ser eximidas del procedimiento general de autorización regulado en este artículo, siempre que el Área de Inspección Marítima verifique que los cambios previstos en el buque o en la embarcación no incidan significativamente sobre las condiciones de seguridad marítima



ni sobre la integridad del medio ambiente marino. La solicitud de exención, junto con la documentación técnica que defina y determine las exigencias técnicas de la obra, será dirigida al Capitán Marítimo de la Capitanía de Primera en cuyo ámbito geográfico se vaya a realizar. El Área de Inspección Marítima examinará la documentación técnica aportada y tras evaluar la influencia que los cambios previstos pueden tener en la seguridad marítima o en la integridad del medio ambiente marino, informará al Capitán Marítimo para que proceda a resolver la solicitud presentada. Reconocida la exención, el Área de Inspección Marítima verificará que las obras se realizan de acuerdo con la normativa vigente y con la documentación técnica presentada. En caso de denegación de la solicitud de exención se procederá de acuerdo con el procedimiento de autorización previa regulado en este artículo para el resto de los buques.



Real decreto 1434/1999.

Capítulo 1. Disposiciones generales.

Artículo 3. Tipos de reconocimientos.

Las embarcaciones de recreo comprendidas en el ámbito de aplicación de este Real Decreto estarán sometidas a los siguientes reconocimientos obligatorios, que se realizarán de acuerdo con las prescripciones establecidas en el anexo II:

A) Reconocimiento inicial. Todas las embarcaciones de recreo deberán realizar un reconocimiento inicial que será llevado a cabo por la Administración marítima para verificar el cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad y prevención de la contaminación, y que consistirá en:

1. Un examen de los planos, diagramas, especificaciones, cálculos y demás documentación técnica, para verificar que la estructura, las máquinas y el equipo cumplen la normativa vigente.
2. Una inspección de la estructura, las máquinas y el equipo, para verificar que los materiales, los escantillones, la construcción y los medios, según proceda, se ajustan a los planos aprobados, diagramas, especificaciones, cálculos y demás documentación técnica, y que tanto la calidad del trabajo como de la instalación es satisfactoria en todos sus aspectos. Superado el reconocimiento inicial se expedirá el correspondiente Certificado de navegabilidad. Las embarcaciones de recreo comprendidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 297/1998, de 27 de febrero, que lleven incorporado el marcado «CE» de conformidad, no precisarán de reconocimiento inicial. El certificado de navegabilidad les será expedido de forma automática por la Administración marítima. En todo caso, estas embarcaciones estarán sujetas a los correspondientes reconocimientos periódicos, intermedios, adicionales y, en su caso, extraordinarios, que procedan. El inicio del plazo para la realización de los mismos se computará a partir de la fecha de la primera puesta en servicio de la embarcación. El Certificado de navegabilidad irá acompañado de un inventario en el que constarán los elementos de



salvamento y de seguridad, así como el equipo que debe llevar a bordo la embarcación, que se indican en el anexo I, de acuerdo con las categorías de diseño de las embarcaciones que se definen en el anexo I, 1, del Real Decreto 297/1998, de 27 de febrero. Su fecha de expedición será la que marque el inicio del plazo para los reconocimientos periódicos y, en su caso, intermedios, que se regulan en los párrafos b) y c).

B) Reconocimientos periódicos. Las embarcaciones de eslora mayor o igual a 6 metros y menor de 24 metros, registradas en la lista 7.a, de acuerdo con la normativa vigente sobre registro y abanderamiento de buques, estarán sujetas a reconocimientos periódicos cada cinco años como máximo. Las embarcaciones registradas en la lista 6.a estarán sujetas a la realización de los reconocimientos periódicos en el plazo establecido en el párrafo anterior, cualquiera que sea su eslora. Los reconocimientos periódicos consistirán en:

1. Una inspección del casco en seco y del equipo, acompañada de pruebas cuando sea necesario, a fin de garantizar que se cumplen las prescripciones que se especifican en el Certificado de navegabilidad y que su estado es satisfactorio e idóneo para el servicio de la embarcación.
2. Una inspección minuciosa de los elementos de salvamento y de seguridad, material náutico y del resto del equipo, para comprobar que los mismos están en condiciones de prestar los requerimientos que les son exigidos.
3. La comprobación de que a bordo de la embarcación se encuentran los certificados, libros de registro, manuales de instrucciones y demás documentación propia de la embarcación.
4. Comprobación del estado y del funcionamiento de los diferentes items especificados en el anexo II. Las embarcaciones de eslora inferior a 6 metros, registradas en la lista 7.a, estarán exentas de reconocimientos periódicos. En el certificado de navegabilidad deberá constar la frase «SIN CADUCIDAD».

C) Reconocimientos intermedios. Además de lo dispuesto en el apartado anterior, estarán obligadas a realizar un reconocimiento intermedio en seco entre el segundo y el tercer año del período establecido, para comprobar el estado de mantenimiento del



equipo y del casco, las embarcaciones registradas en la lista 6.a de eslora mayor o igual a 6 metros, y las embarcaciones registradas en la lista 7.a de eslora mayor o igual a 15 metros. Estarán también obligadas a la realización de reconocimientos intermedios, las embarcaciones inscritas en la lista 7.a de eslora mayor o igual a 6 metros, siempre que el casco sea de madera. Los reconocimientos intermedios consistirán en la inspección de los diferentes elementos de la embarcación, así como de la obra viva, con objeto de garantizar que se hallan en estado satisfactorio. Asimismo, se comprobará el funcionamiento de todos los equipos instalados a bordo. La profundidad del reconocimiento será aquella que permita al inspector llegar a la conclusión de que la embarcación se encuentra en condiciones razonables de seguridad.

D) Reconocimientos adicionales. Será obligatoria la realización de reconocimientos adicionales, en los supuestos siguientes:

a) Cuando una embarcación de recreo efectúe reparaciones en su casco, maquinaria y equipo, o sufra modificaciones o alteraciones en los mismos.

b) Después de haber sufrido varada, abordaje, serias averías por temporal u otro motivo, o averías en su maquinaria y demás elementos y componentes de la embarcación, que pueda afectar las condiciones de seguridad de navegación de la embarcación.

E) Reconocimientos extraordinarios. Los reconocimientos extraordinarios se realizarán:

a) A requerimiento de un órgano judicial.

b) Por resolución motivada de la Dirección General de la Marina Mercante, cuando se tenga conocimiento fundado de hechos que puedan poner en peligro la seguridad marítima, así como para prevenir la contaminación del medio ambiente marítimo.



ANEXO 5. RESOLUCIÓN A.749 (18). CODIGO DE ESTABILIDAD SIN AVERIA PARA TODOS LOS TIPOS DE BUQUES REGIDOS POR LOS INSTRUMENTOS DE LA OMI.



Resolución A.749(18)

Aprobada 4 noviembre 1993

Punto 11 del orden del día

**CODIGO DE ESTABILIDAD SIN AVERIA PARA TODOS LOS TIPOS DE
BUQUES REGIDOS POR LOS INSTRUMENTOS DE LA OMI**

LA ASAMBLEA,

RECORDANDO el artículo 15 j) del Convenio constitutivo de la Organización Marítima Internacional, artículo que trata de las funciones de la Asamblea por lo que respecta a las reglas y directrices relativas a la seguridad marítima,

RECONOCIENDO la necesidad de elaborar por acuerdo internacional un Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI en que se resuma la labor realizada hasta el momento por la Organización,

HABIENDO EXAMINADO la recomendación hecha por el Comité de Seguridad Marítima en su 62.º período de sesiones,

1. ADOPTA el Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI, cuyo texto figura en el anexo de la presente resolución y sustituye a las siguientes recomendaciones:

- a) Recomendación sobre estabilidad sin avería de los buques de pasaje y de carga de menos de 100 m de eslora (resolución A.167(ES.IV));
- b) Enmiendas a la Recomendación sobre estabilidad sin avería de los buques de pasaje y de carga de menos de 100 m de eslora (resolución A.167(ES.IV)) en lo que respecta a los buques con cubierta (resolución A.206(VIII));
- c) Recomendación sobre estabilidad sin avería de los buques pesqueros (resolución A.168(ES.IV));
- y
- d) Recomendación sobre un criterio de viento y balance intensos (criterio meteorológico) aplicable a la estabilidad sin avería de buques de pasaje y de buques de carga de eslora igual o superior a 24 m (resolución A.362(14)).

2. INVITA a los gobiernos interesados a que apliquen las disposiciones del Código como base para las normas de seguridad pertinentes, a menos que sus prescripciones nacionales de estabilidad aseguren, como mínimo, un grado de seguridad equivalente;

3. RECOMIENDA a los gobiernos interesados que se aseguren de que se realizan pruebas de estabilidad de conformidad con las directrices especificadas en el anexo de la presente resolución;

4. AUTORIZA al Comité de Seguridad Marítima a que enmiende el Código cuando sea necesario con arreglo a los resultados de estudios ulteriores y la experiencia adquirida en la aplicación de las disposiciones del Código.



Comprobar estabilidad

6.8.4 En el interior, la Administración prestará especial atención al desague adecuado de los puestos de estiba de tuberías, habida cuenta de las características de cada buque. No obstante, el área prevista para el desague de los puestos de estiba de tuberías excederá del área prescrita para las portas de desague practicadas en la amurada de la cubierta de carga y no llevará tapas.

6.9 Cuestiones diversas

6.9.1 Los buques dedicados a operaciones de remolque llevarán medios para soltar rápidamente el cable de remolque.

CAPÍTULO 7 - DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO EN ROSCA Y DE LAS COORDENADAS DEL CENTRO DE GRAVEDAD

7.1 Ambito de aplicación

7.1.1+ Todo buque de pasaje, sean cuales fueren sus dimensiones, y todo buque de carga de eslora igual o superior a 24 m, tal como se define ésta en el Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966, que haya en vigor, será sometido, ya terminada su construcción, a una prueba destinada a determinar los elementos de su estabilidad*.

7.1.2+ Si un buque experimenta alteraciones que afecten a su estabilidad, el buque será sometido a una nueva prueba de estabilidad*.

7.1.3+ En todos los buques de pasaje, a intervalos periódicos que no excedan de cinco años, se llevará a cabo un reconocimiento para determinar el peso en roca y comprobar si se han producido cambios en el desplazamiento en roca o en la posición longitudinal del centro de gravedad. Si al comparar los resultados con la información aprobada sobre estabilidad se encontrara o se previera una variación del desplazamiento en roca que exceda del 2% o una variación de la posición longitudinal del centro de gravedad que exceda de 1% de L, se someterá al buque a una nueva prueba de estabilidad*.

7.1.4+ La Administración podrá autorizar que respecto de un determinado buque se prescindiera de esta prueba de estabilidad prescrita en el párrafo 7.1.1 siempre que se disponga de datos básicos proporcionados por la prueba de estabilidad realizada con un buque gemelo y que a juicio de la Administración sea posible, partiendo de estos datos básicos, obtener información de garantía acerca de la estabilidad del buque no sometido a prueba*.

7.1.5+ La Administración podrá asimismo autorizar que respecto de un determinado buque o de una clase de buques especialmente proyectados para el transporte de líquidos o de mineral a granel se prescindiera de la prueba de estabilidad, si la referencia a datos existentes para buques análogos indica claramente que las proporciones y la disposición del buque harán que haya sobrada altura metacéntrica en todas las condiciones de carga probables*.

7.1.6 La prueba de estabilidad prescrita puede adaptarse a buques de eslora inferior a 24 m si se toman las debidas precauciones para garantizar la precisión del procedimiento de prueba.

7.2 Definiciones

A los efectos del presente capítulo, y salvo disposición expresa en otro sentido, regirán las siguientes definiciones:

1. **Certificación de los pesos de prueba:** verificación del peso marcado en un peso de prueba. Los pesos de prueba se certificarán utilizando una escala certificada. La pesada se realizará con la mínima antelación posible a la prueba de estabilidad, a fin de asegurar la precisión del peso medido.

* Véase la regla II-1/22 del Convenio SOLAS 1974, en su forma enmendada.



ANEXO 6. LLOYD'S REGISTER. RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF YACHTS AND SMALL CRAFT.



Rules and regulations for the classification of yachts and small craft

Hull construction

General Requirements

Effective from 9 August, 1978

Part	2
Chapter	1
Section(s)	1 & 2
Page	1

SECTION 1

General

1.1 Application

1.1.1 The Rules apply to sea-going motor, sailing and auxiliary craft of normal form and proportions, not exceeding a scantling length of 50 metres. Craft of unusual design, form or proportions will be individually considered on the basis of the Rules.

1.2 Building yard

1.2.1 Before the commencement of a Special Survey during Construction, the Builder is to demonstrate to the satisfaction of the Society that he has the organization and the capability of building the proposed craft to the standards of the Rules.

1.2.2 All craft are to be constructed under the environment required for the materials and methods indicated in this Part.

1.3 Submission of plans and data

1.3.1 Plans showing the following details of the scantlings and arrangements are to be submitted:—

- General arrangement.
- Hull construction profile.
- Hull construction sections and bulkheads.
- Deck.
- Integral oil fuel and water tanks.
- Machinery seatings.
- Superstructure, deckhouses and coachroofs.
- Rudder and steering arrangements.
- Propeller brackets.

1.3.2 Details of materials and manufacturing processes to be used in the construction are to be submitted.

1.3.3 Where scantlings are determined by direct calculation, the calculations are to be submitted.

1.4 Equivalents

1.4.1 Alternative arrangements or fittings which are considered to be equivalent to the Rule requirements will be accepted.

1.4.2 Where no special reference is made in this Part to specific requirements, the construction is to be efficient for the intended purpose and to conform to good practice.

1.4.3 Where items are of a novel or unconventional design or manufacture, it is the responsibility of the Builder to demonstrate their suitability and equivalence to the Rule requirements.

1.5 Masts and rigging

1.5.1 The masts, rigging and sail arrangements of the craft are left to the judgement and experience of the Owner, the Builders and the Designers, but the Surveyor is to be satisfied that they are of suitable materials, properly fitted and in good working order.

● End of Section

SECTION 2

Definitions

2.1 Length

2.1.1 The overall length, L_{OA} , is the distance, in metres, measured parallel to the static load waterline from the fore side of the stem to the after side of the stern or transom, excluding rubbing strakes and other projections.

2.1.2 The waterline length, L_{WL} , is the distance, in metres, measured on the static load waterline from the fore side of the stem to the after side of the stern or transom.

2.1.3 The scantling length, L , is to be taken as:—

$$L = \frac{L_{OA} + L_{WL}}{2} \text{ metres}$$

2.1.4 Amidships is to be taken as the middle of the static load waterline.

2.2 Breadth

2.2.1 The breadth, B , is the extreme breadth, in metres, measured between the outer sides of the hull, excluding rubbing strakes or other projections.

2.3 Depth

2.3.1 The depth, D , is the distance, in metres, at amidships, measured from the bottom of the keel, or ballast keel if fitted, to the top of the upper deck or gunwale at side.

2.3.2 It is assumed that a sailing or auxiliary craft, is fitted with a ballast keel. If a centreboard is fitted the depth, D , is, in general, to be the measured depth increased by 15 per cent, but will be considered for each individual design.

2.4 Speed

2.4.1 The speed, V , is the maximum speed, in knots.

● End of Chapter



Rules and regulations for the classification of yachts and small craft

Hull construction

Glass Reinforced Plastics

Effective from 9 August, 1978

Part	2
Chapter	2
Section(s)	5
Page	8

5.2 Motor craft

5.2.1 The scantlings of the hull laminate are given in Table 2.5.1 (see also Fig. 2.5.3).

5.2.2 The bottom shell weight determined from Table 2.5.1 is to be maintained throughout the length of the craft, and is to extend to the chine line or 150 mm above the load waterline, whichever is the greater.

5.2.3 The bottom shell weight given in column 3 of Table 2.5.1, is to be increased by 50 per cent to form a keel of width $(25L+300)$ mm, where L is as defined in Ch 1.2. See Figs. 2.5.3 and 2.5.4.

5.2.4 The keel is to extend from transom to stem head, and the weight obtained from 5.2.3 is not to be corrected for stiffener spacing nor the speed to length ratio of the craft, but is to be not less than the corrected bottom shell weight.

5.2.5 The side shell weight determined from Table 2.5.1 is to be maintained throughout the length of the craft.

5.2.6 The stern or transom is to be the same weight as the side shell, but where the transom is carrying a propulsion motor the scantlings are to be increased.

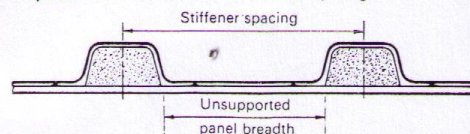
5.2.7 Additional reinforcement is to be moulded into the chine and transom boundary as given in 5.1.3.

Table 2.5.1 Weights of hull laminate for motor craft

Length, L , m	Basic stiffener spacing, mm	Shell weights, g/m ²									
		$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \leq 3,6$		$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 5,4$		$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 7,2$		$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 9,0$		$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 10,8$	
		Bottom	Side	Bottom	Side	Bottom	Side	Bottom	Side	Bottom	Side
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	380	2650	2150	3050	2150	3400	2200	3650	2400	3900	2600
8	390	3100	2500	3550	2500	3950	2550	4250	2750	4550	3000
10	400	3500	2850	4000	2850	4450	2900	4850	3100	5150	3350
12	410	3900	3200	4450	3200	5000	3200	5400	3450	5700	3700
14	420	4250	3550	4900	3550	5450	3550	5900	3750	6350	4000
16	430	4650	3850	5300	3850	5950	3850	6400	4050	—	—
18	440	5000	4150	5750	4150	6400	4150	6900	4300	—	—
20	450	5350	4450	6150	4450	6850	4450	7400	4650	—	—
22	460	5700	4750	6550	4750	7300	4750	—	—	—	—
24	470	6050	5050	6950	5050	7700	5050	—	—	—	—
26	480	6400	5350	7350	5350	8150	5350	—	—	—	—
28	490	6800	5650	7750	5650	8650	5650	—	—	—	—
30	500	7150	5950	8200	5950	9100	5950	—	—	—	—

NOTES

1. The Table weights of the bottom and side shell laminates are to be corrected for unsupported panel breadth by direct proportion in relation to the basic stiffener spacing.



2. Where the aspect ratio, R (i.e. ratio of length to breadth) of the unsupported panel is less than 2, the Table weight, modified in accordance with Note 1, is to be multiplied by the factor F_p obtained from:—

$$F_p = 0,54 + 0,23R$$

3. The corrected laminate weight is to be not less than 0,7 times the Table weight.

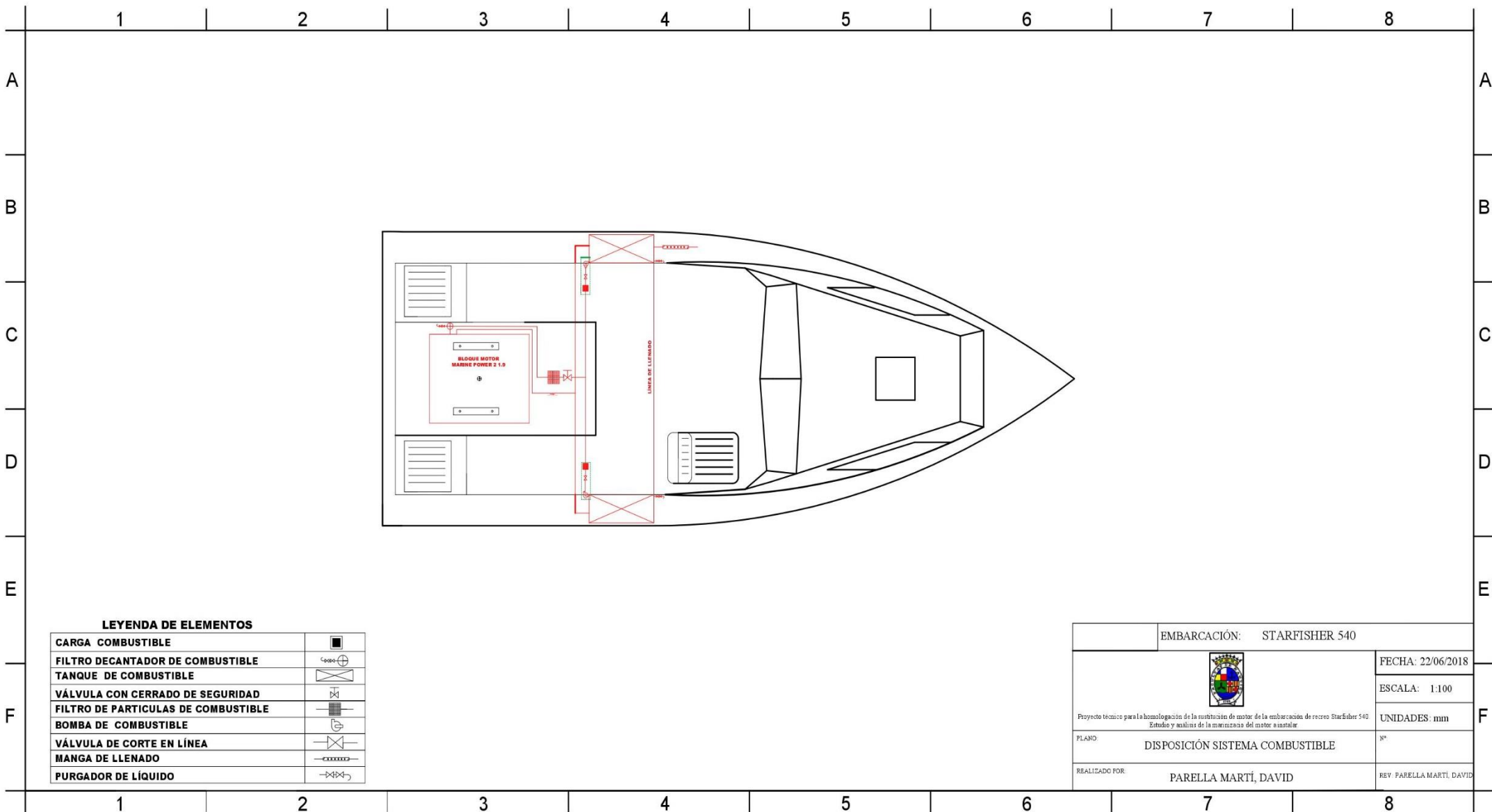
4. Where the mechanical properties and/or glass content of the laminate differ from those shown in 4.2.1, the corrected laminate weight is to be multiplied by the factor K_w in accordance with 4.3.4.



ANEXO 7. PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES

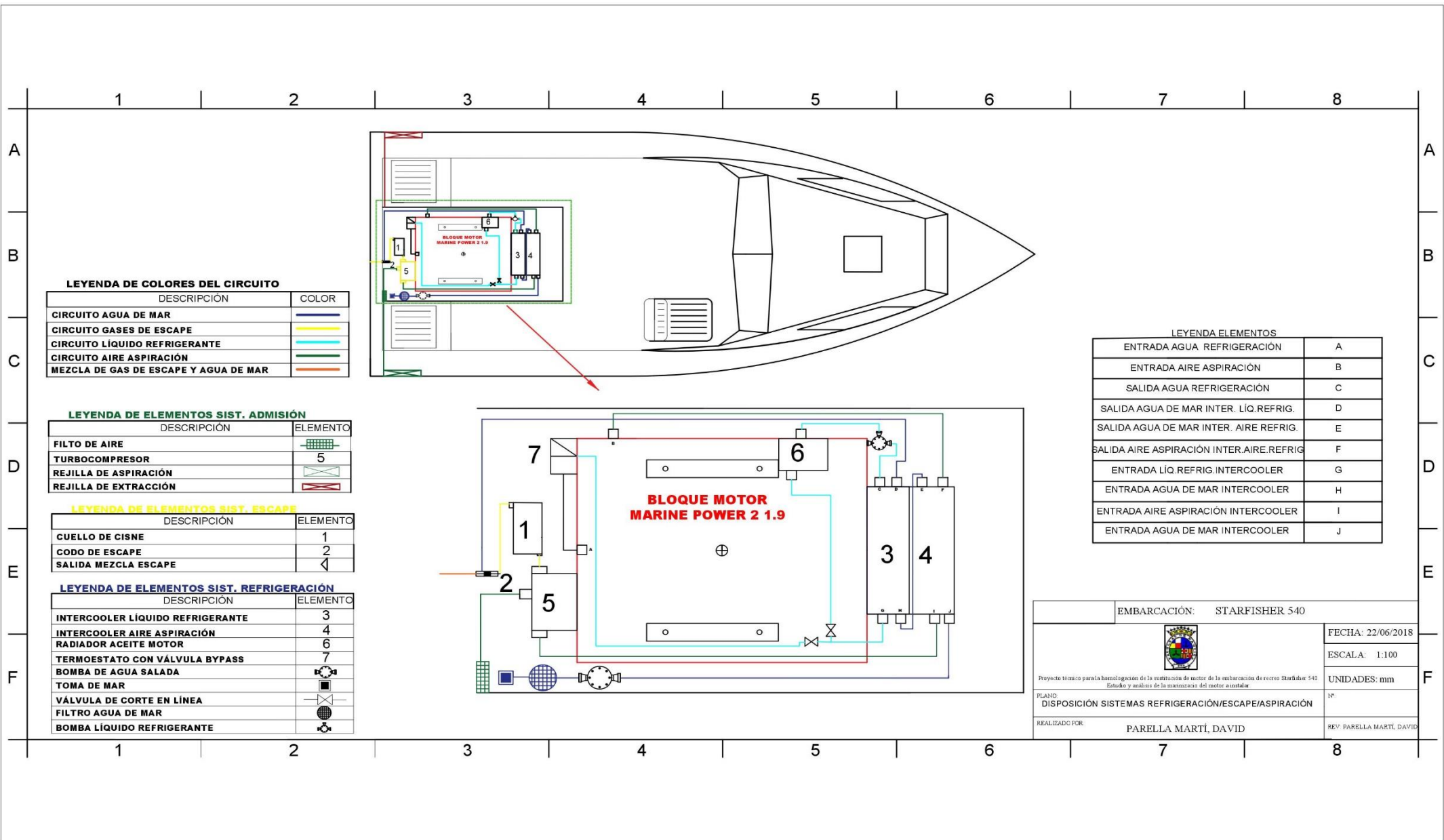


PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL SISEMA DE COMBUSTIÓN



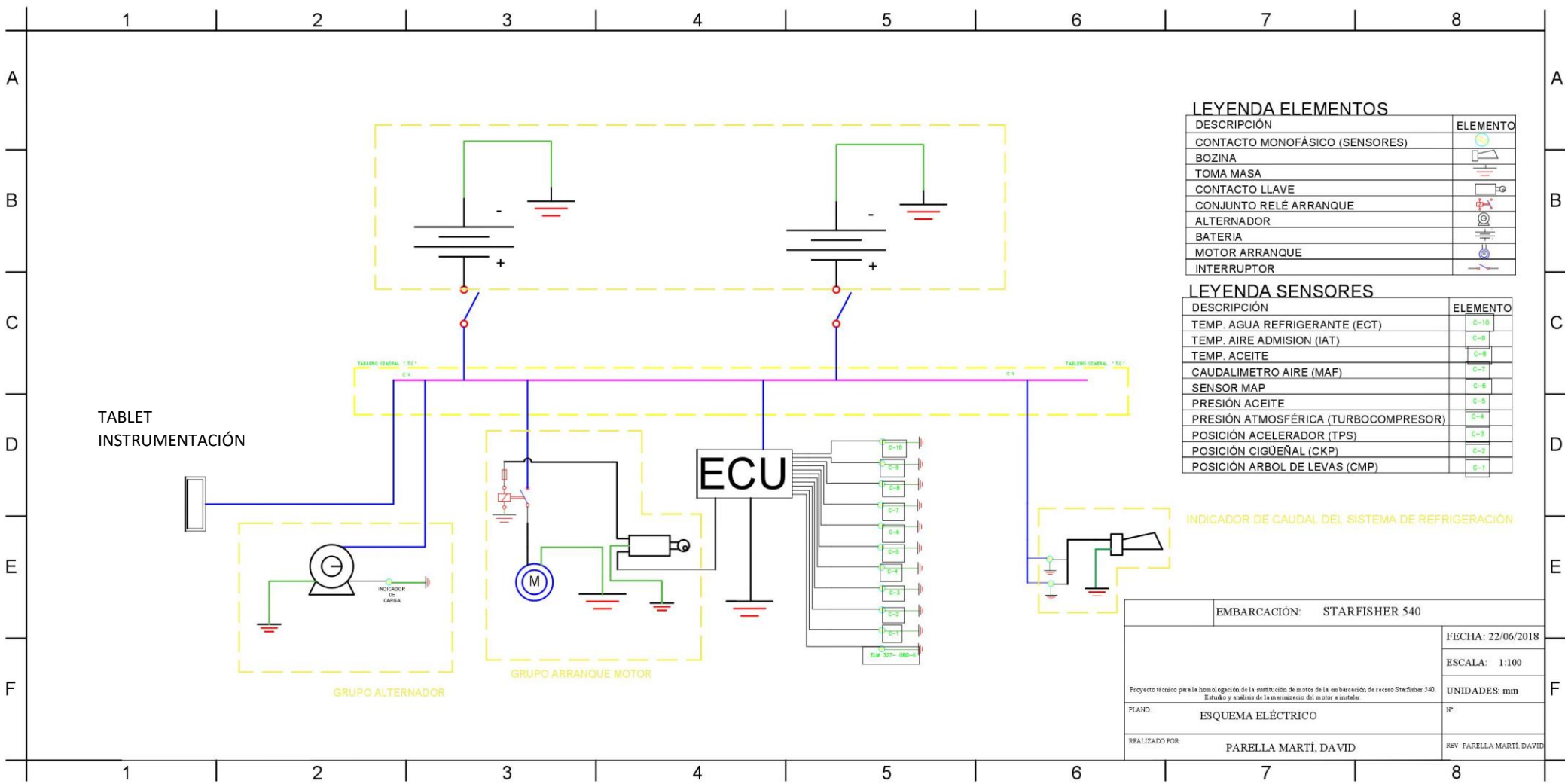


PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN / ESCAPE / ASPIRACIÓN





ANEXO 8. ESQUEMA ELÉCTRICO



LEYENDA ELEMENTOS

DESCRIPCIÓN	ELEMENTO
CONTACTO MONOFÁSICO (SENSORES)	
BOZINA	
TOMA MASA	
CONTACTO LLAVE	
CONJUNTO RELÉ ARRANQUE	
ALTERNADOR	
BATERIA	
MOTOR ARRANQUE	
INTERRUPTOR	

LEYENDA SENSORES

DESCRIPCIÓN	ELEMENTO
TEMP. AGUA REFRIGERANTE (ECT)	C-10
TEMP. AIRE ADMISION (IAT)	C-9
TEMP. ACEITE	C-8
CAUDALIMETRO AIRE (MAF)	C-7
SENSOR MAP	C-6
PRESIÓN ACEITE	C-5
PRESIÓN ATMOSFÉRICA (TURBOCOMPRESOR)	C-4
POSICIÓN ACELERADOR (TPS)	C-3
POSICIÓN CIGÜEÑAL (CKP)	C-2
POSICIÓN ARBOL DE LEVAS (CMP)	C-1

INDICADOR DE CAUDAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

EMBARCACIÓN:	STARFISHER 540
FECHA:	22/06/2018
ESCALA:	1:100
UNIDADES:	mm
PLANO:	ESQUEMA ELÉCTRICO
REALIZADO POR:	PARELLA MARTÍ, DAVID

